

# **Beitrag zur Saccharose- und Fructose- Verwertung des Mastkalbes**

**Klaus Peter Eberhard**

**1974**



Aus den Instituten für Tierphysiologie  
und Ernährungsphysiologie  
an der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Dr. Dr.h.c. Dr.h.c. Dr.h.c.  
Johannes Brüggemann

Gefertigt unter Anleitung von Priv.-Doz. Dr. J. Gropp

BEITRAG ZUR SACCHAROSE- UND FRUCTOSE- VERWERTUNG  
DES MASTKALBES

Inaugural - Dissertation  
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von  
Klaus Peter Eberhard  
aus Fürstenfeldbruck

München 1973

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. Erwin Dahme  
Referent: Prof. Dr.Dr. Dr.h.c. Dr.h.c. Dr.h.c.  
Johannes Brüggemann  
Korreferent: Prof. Dr. Gerhard Terplan

Tag der Promotion: 22. Februar 1974



Meiner Frau Elke

# Inhaltsverzeichnis

|                                                           | Seite |
|-----------------------------------------------------------|-------|
| 1. Einleitung                                             | 1     |
| 2. Literaturübersicht                                     | 3     |
| 2.1. Kohlenhydratverwertung und -resorption (allgemein)   | 3     |
| 2.2. Kohlenhydratverwertung beim Kalb                     | 5     |
| 2.2.1. Blutglucosespiegel                                 | 5     |
| 2.2.2. Carbohydrasen                                      | 8     |
| 2.2.2.1. Amylase                                          | 8     |
| 2.2.2.2. Maltase                                          | 9     |
| 2.2.2.3. Lactase                                          | 9     |
| 2.2.3. Verdaulichkeit von Kohlenhydraten                  | 11    |
| 2.2.3.1. Stärke                                           | 11    |
| 2.2.3.2. Maltose                                          | 14    |
| 2.2.3.3. Lactose                                          | 15    |
| 2.2.4. Blutzuckeranstieg nach Kohlenhydratgaben           | 16    |
| 2.2.4.1. Stärke                                           | 16    |
| 2.2.4.2. Maltose                                          | 18    |
| 2.2.4.3. Lactose                                          | 20    |
| 2.2.5. Saccharose                                         | 21    |
| 2.2.5.1. Saccharase                                       | 22    |
| 2.2.5.2. Verdaulichkeit                                   | 22    |
| 2.2.5.3. Blutzuckeranstieg                                | 23    |
| 2.2.6. Fructose                                           | 23    |
| 2.2.6.1. Verträglichkeit                                  | 24    |
| 2.2.6.2. Blutzuckeranstieg                                | 24    |
| 2.2.6.3. Blutfructose und Fructosurie neugeborener Kälber | 25    |
| 3. Eigene Untersuchungen                                  | 27    |
| 3.1. Methoden                                             | 27    |
| 3.1.1. Blutglucosebestimmung                              | 27    |
| 3.1.1.1. Prinzip                                          | 27    |
| 3.1.1.2. Reagenzien                                       | 28    |

|          |                                                                                                                          |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.1.3. | Durchführung                                                                                                             | 28 |
| 3.1.1.4. | Berechnung                                                                                                               | 29 |
| 3.1.2.   | Einfluß der Lagerungsdauer auf die<br>Ergebnisse der Blutglucosebestimmung                                               | 29 |
| 3.1.3.   | Katheterisierung der Vena portae                                                                                         | 32 |
| 3.1.4.   | Katheterisierung der Vena jugularis                                                                                      | 33 |
| 3.1.5.   | Tiermaterial                                                                                                             | 33 |
| 3.1.6.   | Milchaustauschfutter-Typ und Tränkplan                                                                                   | 34 |
| 3.1.6.1. | Milchaustauschfutter                                                                                                     | 34 |
| 3.1.6.2. | Tränkplan                                                                                                                | 36 |
| 3.1.7.   | Versuchsanlage                                                                                                           | 37 |
| 3.1.8.   | Testmahlzeiten                                                                                                           | 37 |
| 3.1.9.   | Blutentnahme                                                                                                             | 37 |
| 3.1.10.  | Ergebnisdarstellung                                                                                                      | 38 |
| 3.2.     | Ergebnisse und Diskussion                                                                                                | 39 |
| 3.2.1.   | Das Blutglucoseverhalten nach Leermahlzeit<br>bei 6 Saugkälbern und einem Jungrind                                       | 39 |
| 3.2.1.1. | Diskussion der Ergebnisse                                                                                                | 44 |
| 3.2.2.   | Das Blutglucoseverhalten nach Fructose-Gabe<br>(3 g/kg KG) an nüchterne (12 Stunden ge-<br>fastete) Kälber               | 47 |
| 3.2.2.1. | Diskussion der Ergebnisse                                                                                                | 52 |
| 3.2.3.   | Das Blutglucoseverhalten nach Saccharose-<br>Gabe (3 g/kg KG) an nüchterne (12 Stunden<br>gefastete) Kälber              | 54 |
| 3.2.4.   | Das Blutglucoseverhalten nach Invertzucker-<br>Gabe (3 g bzw. 1,5 g/kg KG) an nüchterne<br>(12 Stunden gefastete) Kälber | 57 |
| 3.2.5.   | Das Blutglucoseverhalten nach Saccharose-<br>Gabe (3 g/kgKG) an 6 - 8 Wochen adaptierte<br>Kälber                        | 62 |
| 3.2.6.   | Das Blutglucoseverhalten nach Saccharose-<br>Gabe (1,5 g/kg KG) an 6 - 8 Wochen adaptierte<br>Kälber                     | 66 |
| 3.2.7.   | Diskussion der Ergebnisse                                                                                                | 70 |
| 4.       | Zusammenfassung                                                                                                          | 73 |
| 5.       | Literaturverzeichnis                                                                                                     | 77 |



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41556029\\_0057](https://archive.org/details/IA41556029_0057)

## 1. Einleitung

Die Kälbermast ist ein relativ junger Zweig der landwirtschaftlichen Veredelungsproduktion. Das Mastkalb wird für die gesamte Mastdauer (3 bis 4 Monate) mit einer Milchtränke, die Milchaustauschfutter in Konzentrationen von 100 - 250 g/Liter, abhängig vom Alter des Tieres, enthält, ernährt. Bei dem in der Kälbermast angewandten Milchernährungsregime gelangt die Flüssignahrung über eine Auslösung des Schlundrinnenreflexes direkt in den Labmagen. Eine Vormagenverdauung kommt hierbei nicht in Gang; die Vormägen bleiben auch morphologisch unterentwickelt. Das Mastkalb verharret folglich auf der pseudomonogastrischen Stufe des jungen Saugkalbes.

Aus Gründen der Rentabilität werden bei Verknappung des Ausgangsprodukts Mähternkalb immer höhere Endgewichte in der Kälbermast angestrebt und auch realisiert. Die Kälbermast wird heute über 3 - 4 Monate betrieben. Mastkalber erreichen dabei ein Endgewicht von 150 - 200 kg. Ein gleich altes (wiederkäuergerecht ernährtes) Aufzuchtkalb ist dagegen bereits als funktionstüchtiger Wiederkäuer anzusprechen.

Die vom Aufzuchtkalb mit dem Futter aufgenommenen pflanzlichen Kohlenhydrate (vorwiegend Stärke und Cellulose) werden im Wiederkäuer-Pansen mikrobiell gespalten und dort überwiegend als Fettsäuren der Kettenlänge C-2 bis C-4 resorbiert. Das gesamte produzierte Fettsäurevolumen gliedert sich (bei hohem Raufutteranteil in der Tagesration) wie folgt auf: Essigsäure 50 - 60 %, Propionsäure 20 - 30 %, Buttersäure 5 - 10 %. Valeriansäure und höhere Fettsäuren machen nur wenige Prozente aus. Ein Teil dieser niedrigen Fettsäuren - hauptsächlich Propionsäure - wird auf dem Wege der Gluconeogenese zu Glucose transformiert. Die überwiegende Fraktion gelangt unverändert in den Stoffwechsel der "Verbraucherzelle" und dient als deren Energiequelle. In der Zelle wird ein Mol Acetyl-Co-A (aus dem Fettsäurezyklus entstehend) mit einem Mol Oxallessigsäure zu

Zitronensäure kondensiert und in den Citratzyklus eingeschleust. Die aus dem Kohlenhydratstoffwechsel im Pansen resultierenden Fettsäuren werden zum wichtigsten Energielieferanten des Wiederkäuers.

In den Dünndarm des Wiederkäuers gelangt in der Regel nur ein geringer Teil ( $\leq 10\%$ ) der Nahrungs-Kohlenhydrate. Es überrascht daher nicht, daß bei erwachsenen Wiederkäuern eine geringe Ausprägung des amylolytischen Enzymsystems (43) beschrieben wird. Ein aktiver Transport von Glucose im Dünndarm konnte bislang-allerdings unter in vitro Verhältnissen-nicht nachgewiesen werden (55).

Das junge Saugkalb verwertet Lactose gut. Milchzucker ist auch mit ca. 40 - 45 % im handelsüblichen Milchaustauschfutter vertreten. Er wird über Milchprodukte wie Trockenmagermilch und Molkenpulver, die ihrerseits 50 bzw. 60 - 70 % Lactose enthalten, in die Milchaustausch-Futtermischung eingebracht. Andere Kohlenhydrate (Glucose, Invertzucker, Maltose, Saccharose, Quellstärke und teilverzuckerte Quellstärke) spielen dagegen in der Ernährung des Mastkalbes zur Zeit noch eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle. Die Fähigkeit zur enzymatischen Hydrolyse von Saccharose, Maltose und Stärke im Dünndarm des jungen Saugkalbes ist nur gering ausgeprägt.

In den vorliegenden Untersuchungen sollte die Verwertung von Saccharose und Fructose bei Mastkalbern geprüft werden. Als Versuchs-kriterium diente der Blutglucoseanstieg in V. jugularis und V. portae nach einer Testmahlzeit.

## 2. L i t e r a t u r ü b e r s i c h t

### 2.1. Kohlenhydratverwertung und -resorption (allgemein) (16)

Die Kohlenhydrate der Nahrung werden im Magen-Darm-Trakt (schrittweise) bis zur Stufe der Monosaccharide hydrolysiert. Die Monosaccharide werden anschließend resorbiert.

Mit dem Ausdruck Kohlenhydrat-Verwertung bzw. -Ausnützung werden diese beiden Vorgänge zusammen angesprochen.

Nahrungsstärke wird von der  $\alpha$ -Amylase des Pankreas, die über den Ductus pancreaticus in das Darmlumen abgegeben wird, gespalten. Die  $\alpha$ -Amylase hydrolysiert  $\alpha$ -1,4-glykosidische Bindungen. 1,6-Glucoseverknüpfungen werden nicht angegriffen. Als Endprodukte der Stärkeverdauung durch Amylase sind bei Vorliegen von Amylose Maltose und auch Maltotriose aufgefunden worden. Die Hydrolyse des verzweigt-kettigen Amylopektins führt neben Maltose auch zu Isomaltose und  $\alpha$ -Grenzextrinen.

Die verschiedentlich in der Dünndarmmukosa nachgewiesene  $\alpha$ -Amylaseaktivität scheint durch Oberflächenadsorption der Pankreasamylase bedingt zu sein. Daneben existiert aber eine bürstensaumständige  $\gamma$ -Amylase, die von der Darmepithelzelle produziert wird. Ihr Vorkommen ist bei Mensch, Affe, Ratte und Schwein bewiesen.

Die Disaccharidasen sind sämtlich im Bürstensaum der Dünndarmepithelzelle lokalisiert. Zu ihnen gehören die Maltase, Lactase, Saccharase, Isomaltase und Trehalase.

Im Jejunum des Menschen können voraussichtlich 4 - 5 verschiedene  $\alpha$ -Glucosidasen (Maltasen) und 2  $\beta$ -Galactosidasen (Lactasen) unterschieden werden. Die Maltasen 3 und 4 spalten neben Maltose auch Saccharose. Maltase 5 vermag nicht

nur Isomaltose sondern auch Dextrane zu spalten.

Von den beiden Lactasen wurde eine im Cytoplasma der Mukosazelle nachgewiesen. Sie ist vermutlich lysosomalen Ursprungs. Die  $\beta$ -Galactosidaseaktivität ist bei adulten Tieren hauptsächlich im proximalen Dünndarmdrittel lokalisiert, während die Saccharaseaktivität über den gesamten Dünndarmbereich verteilt ist.

Die infolge der Einwirkung der Carbohydrasen freigesetzten Monosaccharide Glucose sowie Galactose (aus Lactose) werden aktiv, d.h. gegen einen Konzentrationsgradienten, aus dem Darmlumen in die Mukosazelle transportiert. Als Hauptort der Glucoseresorption gilt das Jejunum, im Ileum wurde aber ebenfalls ein aktiver Glucosetransport beschrieben. Im Gegensatz dazu wird Fructose auf dem Weg der erleichterten passiven Diffusion (über ein spezielles Carrier-System) resorbiert. Fructose wird nicht gegen einen Konzentrationsgradienten transportiert.

Die Kohlenhydrat-Resorption von aus Di- und Polysacchariden stammenden Monosacchariden wird bei gesunden Menschen durch die Enzymkapazität der Dünndarmmukosa in der Regel nicht begrenzt. Als limitierender Faktor kann vielmehr der Kohlenhydrat-Transport durch die Epithelmembran der Mukosazelle angesprochen werden.

## 2.2. Kohlenhydratverwertung beim Kalb

### 2.2.1. Blutglucosespiegel

Bei erwachsenen Wiederkäuern gelangen infolge der Pansenverdauung kaum resorptionsfähige Kohlenhydrate in den Dünndarm. Daraus erklärt sich die relativ niedrige Blutglucosekonzentration (ontogene Hypoglykämie) von 30 - 50 mg% (4, 14, 15). Auch bei Rotwild wird ein durchschnittlicher Glucosespiegel von 40 - 45 mg/100 ml venösen Bluts genannt (38). Andererseits konnte beim Saugkalb eine - monogastrischen Säugern vergleichbare - Blutzuckerkonzentration von 80 - 100 mg Glucose/100 ml Blut ermittelt werden, die in Anbetracht der fehlenden Produktion flüchtiger Fettsäuren, die als Stoffwechselenergiequelle dienen können, auch durchaus sinnvoll erscheint (7, 20, 33, 65).

Der Gehalt reduzierender Zucker in 100 ml Blut, das durch Punktion der V. jugularis gewonnen wurde, beträgt bei neugeborenen Kälbern etwa 90 - 100 mg (9, 25, 44). Er nimmt dann im Laufe der ersten 7 Lebenswochen des Aufzuchtkalbes auf 40 - 60 mg% ab (2, 20, 33, 38, 39, 49, 70), ein Niveau, das bereits etwa dem des erwachsenen Wiederkäuers entspricht. HIBBS et al. (1956) führen diese Abnahme einerseits auf den rapiden Abbau der fötalen Erythrozyten zurück (Ikterus neonatorum), die glucosereicher sind als postnatal gebildete Erythrozyten. Andererseits diskutieren die Autoren den Einfluß eines funktionstüchtigen Vormagensystems auf den Blutglucosegehalt nüchterner Wiederkäuer.

Die Pansenfunktion, deren Entwicklung bei wiederkäuergerechter Ernährung (d.h. Rauhfuttermittelgabe zu Milch und Kraftfutter ab der 2. Lebenswoche) nach 12 Lebenswochen weitgehend abgeschlossen

ist, hat

aber keinen alleinigen Einfluß auf den Abfall der Blutzuckerkonzentration. Obwohl aus einigen Untersuchungen eine scheinbar deutliche Korrelation zwischen Pansenentwicklung und sinkendem Blutglucosespiegel hervorgeht (2, 38, 39, 49, 70), scheinen das Altern und damit verbundene endokrine Umstellungen das Absinken des Blutglucosespiegels vorrangig auszulösen.

So wurde sowohl bei Vollmilch ernährten Kälbern als auch bei zwei Kontrollgruppen auf einer Heu-Vollmilchrations bzw. Magermilch-Heurration (Heuaufnahme jeweils ad libitum) ein kontinuierlicher Abfall der Blutglucosekonzentration gemessen. Die Abnahme betrug in der Vollmilch- sowie in der Vollmilch-Heu-Gruppe nach 6 bis 7 Wochen etwa 15 mg Glucose/100 ml Blut (von 95 auf 80 mg%), bei den Magermilch-Heu-Tieren jedoch etwa 40 mg% (von 95 auf 55 mg%). Nach der 8. Lebenswoche hatte der Blutzuckerspiegel ein jeweils konstantes Niveau erreicht (33). Über ähnliche Ergebnisse berichten auch HIBBS u. Mitarb. (1956). Bei 4 Gruppen von Kälbern - eine rein milchernährte, sowie 3 weitere mit unterschiedlichen Heu-Kraftfutter-Milch-Rationen - wurde bis zur 7. Lebenswoche etwa die gleiche Konzentration reduzierender Zucker im venösen Blut gemessen. Nach der 7. Woche, in der den Kraftfutter-Kälbern die Milch entzogen wurde, sank der Blutzuckerspiegel bei allen 4 Gruppen weiter, bei den milchentwöhnten Kälbern aber rascher und tiefer.

Ähnlich wie durch protrahierten Milchentzug läßt sich der Abfall der Blutglucosekonzentration auch durch hohe Gaben eines stärkereichen Kraftfutters verzögern. So wurden bei Kälbern, die reichlich pelletiertes Kraftfutter aufnehmen konnten, bis zur 7. Lebenswoche noch 85 - 95 mg Glucose/100 ml Blut gemessen (53).

Aus dem bisher Zitierten kann der Schluß gezogen werden, daß nicht so sehr die Pansenentwicklung und damit das Ernährungsregime, sondern mehr noch der Alterungsprozeß den Abfall der Konzentration reduzierender Blutzucker hervorruft.

Um die Pansenentwicklung auszuschalten, wurden junge Kälber längere Zeit mit Kraftfutterpellets über eine Labmagenfistel gefüttert. Im Vergleich zu per os mit Pellets ernährten Tieren unterschied sich die Konzentration reduzierender Zucker im Blut bei ein Wochen (100 mg%) und 13 Wochen alten Tieren (65 mg%) nicht. Die Konzentration flüchtiger Fettsäuren im Jugularblut war bei beiden Gruppen etwa gleich hoch (ca. 6 Wochen alte Tiere: 2,6 mÄqu/Liter, ca. 13 Woche alte Rinder 3,5 mÄqu/Liter) (45). LUPIEN et al. (1962) resezierten die gesamten Vormägen sowie ein Drittel des Labmagens bei jungen Kälbern. Die Autoren fanden trotz Milchernaehrung einen Blutzuckerabfall in der 7. Lebenswoche und damit korreliert einen Anstieg flüchtiger Fettsäuren im Blut. Sie schließen aus diesen Ergebnissen auf eine von der Pansenfunktion unabhängige Regulation des Blutzucker- und Blutfettsäuregehalts. Die Beobachtung, daß eine enge Korrelation zwischen einer fallenden Blutglucose-Konzentration und einer Zunahme flüchtiger Fettsäuren, vor allem von Acetat, im Pansensaft und Blut besteht, wird von vielen Autoren bestätigt (6, 37, 38, 45).

Diese gegenläufige Konzentrationsänderung (von DCLE 1956 auch beim Menschen beschrieben) kann als Bemühung des Organismus verstanden werden, die kalorische Homöostase aufrecht zu erhalten.

## 2.2.2. Carbohydrasen

### 2.2.2.1. Amylase

Im Pankreas des neugeborenen Kalbes wird Amylase kaum gebildet. Das Pankreas neugeborener Kälber wies in Untersuchungen von HUBER et al. (1961) (23) mit 302 mg Maltoseumsatz/g Pankreasgewebe den geringsten Amylasegehalt auf. Nach 44 Versuchstagen wurde 894 mg Maltoseumsatz/g Pankreasgewebe gemessen. Ein altersabhängiger Anstieg der Amylasekonzentration im Pankreas wird auch von DOLLAR und PORTER (1959) beschrieben.

Parallel dazu muß auch mit einer Erhöhung der Pankreasflußrate gerechnet werden (40, 43).

MC CORMICK und STEWART (1967) geben bei 3 - 5 Tage alten Kälbern die Pankreassekretion mit 148 ml/Tag an. Bei 100 - 180 Tage alten Tieren wurden 1 050 ml/Tag bestimmt.

Bei Milchernährung besteht weiterhin eine deutliche Pankreassaftflußrhythmik in Abhängigkeit von der Mahlzeitaufnahme. So wurden bei durchschnittlich 12 Tage alten Kälbern vor Fütterungsbeginn und 1 Stunde nach der Mahlzeit mit 10,8 bzw. 10,2 ml/Stunde fast gleiche Flußraten ermittelt. Der Höchstwert lag aber mit 15,6 ml/Stunde 6 Stunden nach der Fütterung (43). Mit zunehmendem Alter steigt auch die Amylasekonzentration im Pankreassekret signifikant ( $p < 0,01$ ) an (43). MORILL u. Mitarb. (1970) schätzten aus der Amylasekonzentration im Pankreassaft verschiedener Tagesproben und der Flußrate vergleichbarer Altersgruppen bei jeweils einem 8, 108 und 162 Tage alten Kälbern die Amylaseaktivität in 24

Stunden auf 10, 112 bzw. 220 g Glucoseäquivalent.

Damit dürfte die für ein milchaustauschernährtes Kalb verwertbare Stärkemenge so gering zu veranschlagen sein, daß sich die Einmischung von Starke als Nährstoffträger in ein Milchaustauschfutter ~~er~~übrigen sollte.

#### 2.2.2.2. Maltase

Untersuchungen der Maltaseaktivität im Dünndarm von Kälbern ergaben z.T. uneinheitliche Ergebnisse, doch ist die geringe Ausnutzung der Maltose durch das junge Kalb unbestritten. Während aber HUBER (1958) und HUBER et al. (1961) (23) berichten, daß die Maltaseaktivität in den ersten 6 Lebenswochen eines Kalbes unverändert gering bleibt, liegen von DOLLAR und PORTER (1957) Ergebnisse über einen leichten Anstieg der Darmmaltase zwischen der 3. und 9. Lebenswoche vor. Die Maltaseaktivität im Dünndarm von 4 - 6 Monate alten Kälbern war nur ausreichend, um ca. 2 g Maltose zu spalten (19).

#### 2.2.2.3. Lactase

Das milchzuckerspaltende Enzym Lactase ist, wie alle Disaccharidasen, im Bürstensaum des Dünndarmepithels lokalisiert.

Die Lactase-Aktivität nimmt mit zunehmendem Alter ab. Von HUBER et al. (1961) (23) wird eine Verminderung der Lactase-Aktivität in den ersten 6 Lebenswochen um etwa die Hälfte beschrieben (von 1391 mg Glucoseumsatz/g Dünndarmtrockengewicht bei 1 Tage alten Tieren auf 680 mg bei 44 Tage alten Kälbern). Auffällig war jedoch, daß die Lactase-Konzentration in den beiden ersten Dünndarmdritteln fast unverändert blieb, während sie im

letzten Drittel des Untersuchungszeitraums fast auf 0 absank (von 919 auf 52 mg Glucoseumsatz/g Dünndarmtrockensubstanz).

Aus den Ergebnissen von DOLLAR und PORTER (1957 und 1959) geht ebenfalls ein altersabhängiger Abfall der intestinalen Lactase-Aktivität hervor. Bei Lämmern wird dagegen im gleichen Zeitraum eine ähnliche Aktivitätsminderung der Lactase nicht beobachtet (66). Der Dünndarm erwachsener Rinder, die mit einer Heu-Getreide-Ration gefüttert wurden, enthielt fast keine Lactase mehr (63). Nach Angaben von BARHYDT und DYE (1958) fällt die Disaccharidasen-Aktivität generell bei Rindern noch bis zum 5. Lebensjahr ab.

In diesem Zusammenhang muß auf die offensichtlich gute Regenerierbarkeit des lactosespaltenden Systems durch Substratangebot hingewiesen werden (27). Bei Kalbern, die über 11 Wochen eine Hochlactose-Ration (Vollmilch + 15 % Lactose) erhalten hatten, war die Lactase-Aktivität in der Dünndarmmukosa höher (1340 mg) als bei Kontrollkalbern (965 mg Glucose/g Dünndarmtrockengewicht) (26). Die Lactase-Adaptation wird in gleichem Maße angezeigt durch hohe Zunahme (700 g/Tag) und deutliche postalimentäre Blutzuckererhöhung bei Jährlingsochsen, deren Ernährungsregime nach vorangegangenem Heu-Kraftfutter-Angebot auf eine Hochlactose-Flüssigränung (57,5 % der Trockensubstanz) umgestellt worden war (27).

Meistens geht allerdings mit der als altersabhängig beschriebenen Verminderung der Lactose-Ausnutzung auch ein Wechsel im Ernährungsregime einher (von Milchernahrung zu Heu-Kraftfüttergaben). Eine anteilmäßige Beurteilung der Einflüsse Alter und Gesamtration auf die Lactose-Verwertung wird hierdurch außerordentlich erschwert.

### 2.2.3. Verdaulichkeit von Kohlenhydraten

Die scheinbare Verdaulichkeit eines Nährstoffes wird im klassischen Bilanzverfahren ermittelt. Die quantitative Kotsammlung gilt hierbei als methodische Voraussetzung. Aus der Differenz zwischen Kohlenhydrat-Aufnahme über die Nahrung und Kohlenhydrat-Ausscheidung über die Fäces wird die scheinbar verdaute Kohlenhydrat-Menge bestimmt, die in Prozent der Kohlenhydrat-Aufnahme ausgedrückt den Verdauungsquotienten (VQ) ergibt.

Hohe scheinbare Verdaulichkeit von Kohlenhydraten ist nicht notwendigerweise einer guten Resorption gleichzusetzen. Der Abbau von Kohlenhydraten im Darmlumen kann zur Bildung von Nicht-Kohlenhydrat-Substanzen (z.B. flüchtige Fettsäuren) führen, deren Ausscheidung durch die Fäces wohl selten erfaßt wird und sich selbst dann nur schwer quantifizieren läßt. Aus Verdaulichkeitskoeffizienten läßt sich daher nicht notwendigerweise eine Aussage über die Art der resorbierten Kohlenhydrat-Spaltprodukte und damit über die Kohlenhydrat-Verwertung machen. Ein niedriger VQ dürfte jedoch in der Regel mit einer niedrigeren Resorptionsrate eng korreliert sein.

#### 2.2.3.1. Stärke

Im Vergleich zu den Verdaulichkeitsangaben für Lactose und Maltose werden für Stärke weit niedrigere Werte (Mittel: 70 %) genannt. BURT und IRVINE (1970) geben bei 7 - 51 Tage alten Ayrshire-Bullkalbern die Verdaulichkeit von Weizenmehl bzw. aufgeschlossener Maisstärke, die zu jeweils 20 % in einem Milchaustauschfutter enthalten war, im Mittel mit 71,5 bzw. 62,5 % an. Die niedrige Ver-

daulichkeit der Kohlenhydrat-Quellen hatte eine Verdaulichkeitsdepression der Gesamtnährstoffe zur Folge. VAN ES et al. (1971) nennen an Hand von Untersuchungen an milchernährten Kälbern zwischen dem 16. und 107. Lebenstag einen Verdaulichkeitskoeffizienten von 90 % für Maisquellstärke und 92,5 % für teilverzuckerte Quellstärke (PROMELKA der Fa. Maizena, Hamburg), die zu ca. 25 % aus reiner Glucose besteht.

Neben der geringen Verdaulichkeit von Stärke ist auch die damit verbundene Durchfallhäufigkeit nach Aufnahme von stärkereichem Futter schon länger bekannt. So schlagen HANSEN und HOFMANN (1906) als Milchfuttersatz nur eine mit Diastase verzuckerte Stärke vor. HONCAMP (1926) wiederum mißt der Gewissenhaftigkeit bei der Rationszubereitung besondere Bedeutung zu, welche erst den Erfolg einer Fütterung von Magermilch und 40 - 60 g Starkemehl/Liter gewährleiste.

Den Einfluß des Alters auf die Stärkeverdaulichkeit wurde bereits 1918 von SHAW et al. erkannt. Die Autoren geben beim 2 Tage alten Kalb die Höhe der Stärkeverdaulichkeit mit 23 % an, beim 40 Tage alten Tier bereits mit 98 %. Ähnliche Abhängigkeiten werden auch von HUBER et al. (1968) beschrieben. In einem 6-wöchigen Versuch an milchernährten, zu Versuchsbeginn 3 Tage alten Tieren, fand sich eine Korrelation zwischen Alter und Verdaulichkeitskoeffizienten. Dieser betrug bei 10 Tage alten Kälbern bei roher Maisstärke 70 % und stieg über 77 % bei 38 Tage alten Tieren bis auf 82 % am 80. Lebenstag an. Die Autoren weisen auch auf eine mit steigender Stärkekonzentration (von 0 - 27 %) im Milchaustauschfutter zunehmende

Depression der scheinbaren Stärke- und Proteinverdaulichkeit hin, die sie auf eine beschleunigte Darmpassage zurückführen. Auch von LITTLE et al. (1968) wird die negative Korrelation zwischen Stärkeangebot und Stärkeverdaulichkeit besonders hervorgehoben.

Hohe Werte der scheinbaren Stärke-Verdaulichkeit führte bereits NORRIS (1925) vorwiegend auf <sup>die</sup> mikrobielle Vergärung von Stärke in Cäcum und Colon zurück, da er in den Fäces von Kälbern, die mit Getreideschleim ernährt worden waren, einen weit höheren Anteil flüchtiger Fettsäuren fand als in den Fäces milchernährter Tiere. Der hohe, von SHAW et al. (1918) berichtete VQ kann möglicherweise auf eine zusätzlich bereits einsetzende Pansenverdauung hindeuten, obwohl auch hier in Anbetracht des mit 4 Wochen geringen Tialters und in Abhängigkeit von der Höhe des Stärkeangebots beträchtliche Mengen der mikrobiellen Spaltung im Vormagensystem entgehen können.

Bei Verabreichung gemahlener Kraftfutter-Rationen mit Stärkeanteilen von 19 und 63,5 % wurden im ersten Fall 84 % im zweiten Fall nur 62 % der zugeführten Stärke im Pansen verdaut (30). Stärkeverdaulichkeitsbestimmungen unter Einbeziehung des Pansens können demnach nur in Verbindung mit dem absoluten Stärkeangebot beurteilt werden. Ähnliche Verhältnisse liegen bei Schafen vor (62). Zwischen der den Labmagen passierenden Stärkemenge und der Stärkeausscheidung über die Fäces besteht eine enge Korrelation.

Bei 3 bis 6 Monate alten Ochsen, die neben Luzerne-Pellets eine Milchration (3 % des Körpergewichts/Tag) und zusätzlich 300 g eines Stärketragers erhielten, betrug die Stärkeverdaulichkeit im Mittel von 4 Stärkearten (Amylose, Amylopektin, aufgeschlossene Stärke und Tapiokamehl) 84 % (25). Bei rektaler Kotsammlung in zweistündlichen Abständen ergaben sich für die Stärkekonzentration in der Kottrocken-

substanz jeweils 12 Stunden nach der Fütterung zwei Konzentrationsmaxima/Tag. Bei etwa gleichalten (3-6 Monate) Tieren wurde die Dünndarmverdaulichkeit von roher Stärke mit 41 %, und von Dextrinen (soluble starch) mit 72 % bestimmt (19). Gaben von 600 bis 1200 g Stärke/Tag unter Umgehung des Pansens und Ausnutzung des Schlundrinnenreflexes bzw. über eine Labmagenfistel führten zu scheinbaren Verdaulichkeiten von 55 - 70 % (27, 36).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die wahre Stärkeverdaulichkeit niedrig sein dürfte. Sie ist mit dem Alter der Versuchstiere (bis Vollendung des 3. Lebensmonats) positiv, mit der Konzentration im Futter negativ korreliert.

#### 2.2.3.2. Maltose

Die Maltoseverdaulichkeit im Gesamtdarmtrakt junger Kälber wird von verschiedenen Autorengruppen (19, 25, 34) übereinstimmend als gut beschrieben. Die Untersuchungen machen deutlich, daß dieser hohen scheinbaren Verdaulichkeit eine erhebliche mikrobielle Maltosespaltung im Dickdarm zugrunde liegen muß. So geben HUBER et al. (1961) (25) die Maltoseverdaulichkeit bei 3 - 6 Monate alten Rindern mit 97 % an. Die Tiere erhielten neben Luzernepellets eine Tränke aus Vollmilch mit 10 % des Test-Kohlenhydrats bezogen auf das Gewicht der Flüssigation. Zwischen konventionellen Kotsammelproben und Kotentnahme direkt aus dem Rektum ergaben sich bezüglich der Maltose-Wiederauffindung keine Unterschiede. Bei Kindern im Alter von 8 - 9 Monaten betrug der Vq nach Maltose-Infusion direkt in den Blattermagen sogar 100 % (34). Dagegen bestimmten

HENSCHEL et al. (1963) die Dünndarmverdaulichkeit von Maltose bei 4 - 6 Monate alten Rindern mit Duodenalfisteln. Am kaudalen Dünndarmende gelang die quantitative Wiederauffindung von 30 % des Testkohlenhydrats ( $VQ = 70 \%$ ). Die Differenz zur nahezu vollständigen scheinbaren Verdaulichkeit im Gesamtdarmtrakt läßt sich nur durch mikrobielle Maltosespaltung im Dickdarm erklären.

#### 2.2.3.3. Lactose

Mehrere Untersuchungen über die Verdaulichkeit der Lactose führten zu übereinstimmenden Verdaulichkeits-Koeffizienten von mindestens 90 % (23, 25, 28). An 1 - 5 Monate alten Kälbern bzw. Jungrindern mit operativ angelegten Ileumfisteln wurde eine ca. 90 %ige Spaltung von Milchzucker im Dünndarm, dem Ort höchster Lactase-Konzentration, nachgewiesen. Im Gesamtdarmtrakt aber erfolgte eine vollständige Verdauung ( $VQ = 100 \%$ ) (42). Für 4 - 6 Monate alte Kalber geben HENSCHEL et al. (1963) eine Lactoseverdaulichkeit von 86 % während der Dünndarmpassage an. Im einzelnen ermittelten RAVEN und ROBINSON (1958) sowie HUBER et al. (1968) bei 10 - 80 Tage alten Kälbern eine scheinbare Lactoseverdaulichkeit von 96 bzw. 98 %. BURT und IRVINE (1970) bestimmten die relative Lactoseverdaulichkeit ( $Glucose = 100$ ) bei 5 - 51 Tage alten Tieren mit 93,5 %. Auch bei 3 - 6 Monate alten, bereits wiederkäuenden Rindern wurde die scheinbare Lactoseverdaulichkeit mit 94 % ermittelt (25).

## 2.2.4. Blutzuckeranstieg nach Kohlenhydrat-Gaben

### 2.2.4.1. Stärke

Für eine geringe Stärkeausnutzung bei jungen Kälbern sprechen neben vergleichsweise niedrigen Verdaulichkeitskoeffizienten (siehe 2.2.3.1.) auch die Ergebnisse von Wachstumsversuchen und Messungen der Blutzuckerkonzentrationen nach Stärketestmahlzeiten.

Kälber in einem Alter von 3 - 45 Tagen bekamen eine Milchaustauschrationsration, die 0, 9, 18 und 27 % Stärke enthielt. Für die Rationsgruppen mit 18 bzw. 27 % war eine signifikant ( $p < 0,05$ ) niedrigere Gewichtszunahme (355 bzw. 360 g/Tag) zu beobachten als bei den Kälbern mit geringerer Stärkekonzentration (9 %) im Futter (455 g/Tag). Dabei spielte die Art der verfütterten Stärke - Maisstärke oder Amylopektin - keine Rolle (28). Die Wachstumsdepression der Hoch-Stärke-Gruppen war in den ersten 3 Versuchsgruppen jedoch deutlicher ausgeprägt als zwischen der 4. bis 6. Woche. Ähnlich geringe Zuwachsraten erzielten FLIPSE et al. (1950). NETKE et al. (1960) beobachteten eine Wachstumsdepression nach Stärkezusatz (30 % im Milchaustauschfutter) zur Tränke (179 g/Tag) im Vergleich zu einer Kontrollgruppe (266 g/Tag).

DOLLAR und PORTER (1957) fütterten 1 - 4 Wochen alte Kälber mit einer Magermilchrationsration, die entweder Hafermehl oder Maisflocken - beide Rationen mit Amylasezusatz - enthielt. Die Tiere gediehen wesentlich schlechter als Vollmilch ernährte Kontrollkälber.

Acht Monate alte Ochsenaugen erhielten in Untersuchungen von HUBER et al. (1967) während 8 Wochen über Nippeltränke

eine Flüssigation, die Stärke bzw. Lactose (57,5 %) enthielt. Die Tiere der Lactose-Gruppe hatten signifikant ( $p < 0,01$ ) höhere tagliche Gewichtszunahmen (700 g) als die Stärkegruppe (310 g).

Die Messung der Stärkeverwertung über die Erhöhung der Zuckerkonzentration im venösen Blut erbrachte weitgehend übereinstimmende Resultate. LARSEN et al. (1956) fanden bei 8 - 9 Monate alten Jungochsen, denen Maisstärke über eine Labmagenfistel zugeführt worden war, keine Änderung der Konzentration reduzierender Zucker im Jugularblut. Zu gleichen Ergebnissen führten Untersuchungen nach oralen Stärkgaben unter Umgehung des Pansens (Schlundrinnenreflex) an 7 - 600 Tage alte Kinder (9, 13, 19, 24, 34, 36, 47, 72). Der Zusatz von Amyloglucosidase zu roher oder aufgeschlossener Stärke ergab nur im Falle der vorbehandelten Stärke eine Konzentrationserhöhung reduzierender Blutzucker bei Jungkalbern (42). Aufgeschlossene Stärke dürfte aufgrund ihrer größeren Oberfläche dieser "exogenen" Amylase bessere Angriffsmöglichkeiten geboten haben. Es muß angenommen werden, daß die fehlende Wirkung einer peroral verabreichten Amylase in anderen Untersuchungen (5, 9, 44, 47, 50) auf die Inaktivierung dieses Enzyms im Sauremilieu des Labmagens zurückzuführen ist.

Zusätzlich zu einer enzymatischen Stärkeausnutzung, die bei Spaltung der Stärke bis auf die Stufe von Glucosemolekülen zu einer Erhöhung der Blutglucosekonzentration führen sollte ist auch eine Stärkeverwertung durch mikrobielle Gärungsvorgänge, wobei vor allem kurzkettige Fettsäuren entstehen, denkbar. Die mikrobielle Stärkespaltung führt selbst bei vollständiger Verwertung zu einer geringeren Energieausbeute. So beträgt der Energiegewinn im intermediären Stoffwechsel (Zitronensäurezyklus) aus einem Mol Glucose 38 Mol ATP, bei der Resorption von (entsprechenden) 2 Mol Acetat aber nur 20 Mol ATP. Die Differenz geht bei der Fettsäurebildung als Wärme und Methan verloren.

Während bereits beim jungen Kalb eine mikrobielle Stärke-  
vergärung zu flüchtigen Fettsäuren im Darm bekannt ist  
(46, 71), ist deren Verwertbarkeit (= Resorption) zumindest  
quantitativ noch umstritten, wenn sie im Dickdarm gebildet  
werden. Nach YOUNG und THOMAS (1965) befindet sich zwar  
über ein Drittel des Fettsäurevolumens des Gesamtdarmtraktes  
von Rauhfutter ernährten Kalbern im Cäcum und Colon, aber  
sie konnten nur ein geringes Resorptionsvermögen dieser  
Darmteile feststellen. OKSKOW et al. (1970) infundierten  
200 g gelöste Maisstärke in den Blinddarm von Schafen und  
stellen daraufhin einen von 65 auf 173 mMol/Liter gestie-  
genen Gehalt flüchtiger Fettsäuren im Kotwasser fest. In  
den Ingesta von Cäcum und Colon, sowie in den Faces war der  
Acetatanteil erniedrigt, die Buttersäurekonzentration da-  
gegen erhöht. Die Autoren schließen aus ihren Untersuchen-  
gen auf ein nur geringes Fettsäureresorptionsvermögen des  
Cäcums. Ebenso halten DOLLAR und PORTER (1957) die Produkte  
einer Stärkevergärung nicht von vorne herein auch für ver-  
wertbar. Demgegenüber wiesen LIANG et al. (1967) eine be-  
trächtliche Resorption (Ausscheidung über die Faces 2 - 5 %)  
markierten Acetats, Propionats und Butyrats, über <sup>eine</sup> re-entrant-  
Ileumfistel verabreicht, sowohl im Kälberdünndarm als auch  
im -Dickdarm nach.

#### 2.2.4.2. Maltose

Untersuchungen über die Maltoseverwertung bei Saugkalbern  
ergaben nur einen geringfügigen Anstieg der Blutglukose-  
konzentration nach Maltose-Gaben (9, 24, 65). So weisen  
DOLLAR und PORTER (1957) darauf hin, daß bei milchernährten  
Kalbern im Alter bis zu 4 Wochen nach einer Maltosetrünke

(4,4 g/kg KG) keine Erhöhung des Blutzuckerspiegels auftritt. Es fand sich aber eine geringgradige doch deutlich erkennbare Erhöhung der Blutzuckerkonzentration nach einer Maltose-Mahlzeit bei 9 Wochen alten Tieren.

Die geringe Fähigkeit zur Maltose-Ausnutzung durch das junge Kalb bestätigen auch die Untersuchungen von VELU et al. (1959), die über häufige Durchfallerscheinungen bei 1 - 6 Wochen alten Tieren nach Malzzucker-Gaben von 4,4 g/kg KG berichten.

HUBER et al. (1961) (25) und HUBER et al. (1961) (24) beobachteten bei 22 und 136 Tagen alten Kalbern bzw. Rindern einen Anstieg des Blutglucosespiegels nach Maltose-Mahlzeiten (4,4 g/kg KG) um 31 bzw. 30 mg %. (Die Fütterung erfolgte bei jungen Tieren über Saugnippel, später über eine Pansenfistel direkt in den Psalter.) Bei 50 Tage alten Kälbern - zu diesem Termin wurden die Tiere gerade entwöhnt - betrug der Anstieg dagegen 72 mg/100 ml Blut.

Diese Befunde werden damit begründet, daß unter normalen Fütterungsbedingungen zum Zeitpunkt des Entwöhnens Bruchstücke der Kohlenhydrat-Fermentation aus dem Pansen in den Dünndarm gelangen und so eine Maltose-Adaptation in Gang setzen. Während der Milchentwöhnung ist die Pansenkapazität noch nicht voll entwickelt und größere Menge nur teilverdauter Stärke passieren den Pansen. Insofern besteht zum Zeitpunkt des Milchentzugs ein echter Bedarf des Kalbes, Maltose enzymatisch zu verdauen. Später ist diese Enzym-Aktivität zur Kohlenhydratverdauung nicht mehr erforderlich.

Weiterhin nennen die Autoren beim 130 Tage alten Kalb (bei wiederkäuergerechter Ernährung hat zu diesem Zeitpunkt die

Fähigkeit zur Lactoseverwertung stark abgenommen) nach Maltose- wie nach Lactosetestmahlzeiten eine ähnlich geringe Erhöhung der Konzentration reduzierender Blutzucker (32 bzw. 36 mg%). Andere Autoren beschreiben eine Blutzuckererhöhung nach Maltosetestmahlzeiten bei 4 - 6 Monate alten Rindern (10 - 30 g Maltose/Tier/Mahlzeit in wässriger Lösung über Duodenalfisteln) (19), bzw. 8 - 9 Monate alten Rindern nach Eingabe von Maltose direkt in den Labmagen oder über Dünndarmfisteln (34).

Ergänzend sei erwähnt, daß eine geringe Maltoseverwertung durch den heranwachsenden Wiederkäuer, wie sie von vielen Autoren beschrieben wurde, von WRIGHT et al. (1966) auch bei erwachsenen Schafen nachgewiesen wurde (Blutzuckererhöhung um ca. 20 mg%).

#### 2.2.4.3. Lactose

Die Fähigkeit junger Kälber, Lactose aus Vollmilch- bzw. Milchaustauschrationen zu hydrolysieren, ist häufig beschrieben worden (9, 10, 13, 19, 23, 25, 26, 33, 42, 49). Nach Lactosemahlzeiten wird ein deutlicher Blutzuckeranstieg beobachtet, der bei Blutentnahmen aus der V.jugularis fast ausschließlich auf <sup>eine</sup> Erhöhung der Glucosekonzentration zurückzuführen ist (60). Die Blutzuckerkonzentrationsänderung nach Lactose-Gaben wird mit zunehmendem Alter geringer (9, 10, 24).

Bei 1 Wochen alten Kälbern stieg der Blutzuckerspiegel nach peroraler Verabreichung von 4,4 g Lactose/kg KG um maximal 174 mg% (65). Die deutlichste maximale Anhebung des Blutzuckerniveaus (200 mg%) wurde von denselben Autoren bei 6 Wochen alten Tieren beobachtet. Später (7. - 10. Lebenswoche) lag der höchste Blutzuckeranstieg mit 156 bzw. 172 mg% wieder unter dem genannten Wert.

Die mittlere Erhöhung des Blutzuckerspiegels während 5 Stunden nach einer Lactosemahlzeit (4,4 g/kg KG) lag bei 5 - 11 Wochen alten vollmilchernährten Kalbern bei 56 - 75 mg% (26).

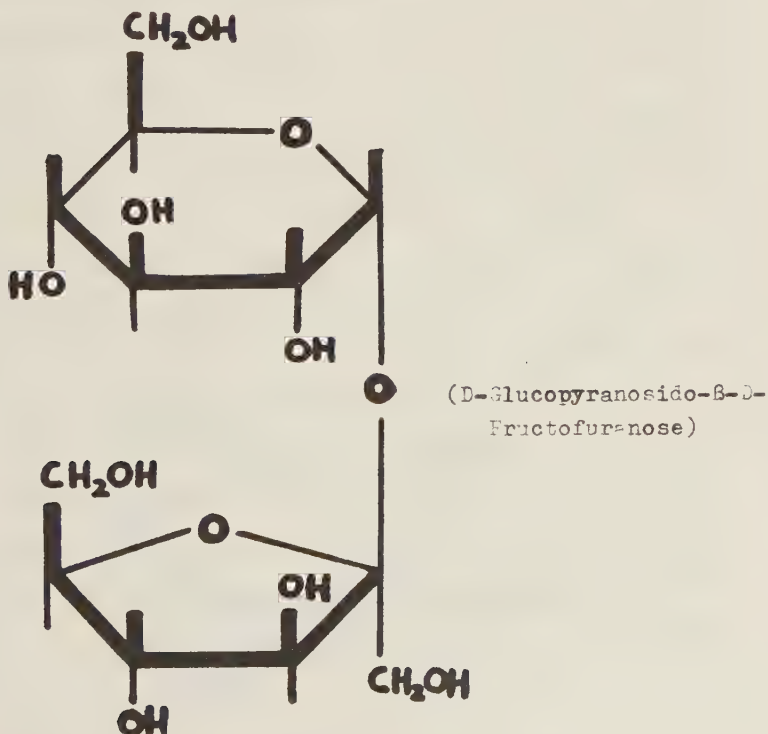
Bei 15 - 24 Wochen alten Rindern betrug die maximale Blutzuckererhöhung nach Gabe von 2,2 g Lactose/kg KG nur 37 mg%.

### 2.2.5. Saccharose

Saccharose (Abb. 1) ist ein Disaccharid, das unter Wasserabtritt aus den Molekülen Glucose und Fructose entsteht. Saccharose kommt ausschließlich in Pflanzen vor.

Abb. 1

SACCHAROSE  
Strukturformel  
Schreibweise nach HAWORTH



#### 2.2.5.1. Saccharase

Saccharase konnte bisher in der Dünndarmmukosa junger Kälber und erwachsener Rinder nicht nachgewiesen werden (9, 23, 25, 27).

#### 2.2.5.2. Verdaulichkeit

Die Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit von Saccharose stößt auf besondere Schwierigkeiten, da unmittelbar nach Saccharose-Mahlzeiten schwere Durchfälle erwartet werden müssen (22, 29, 44, 65), welche die Aussagefähigkeit von Verdauungsversuchen mindern. So existieren nur wenige Angaben über die Rohrzuckerverdaulichkeit bei Wiederkäuern, zumal auch bekannt ist, daß dieser Familie, im Gegensatz zu monogastrischen Tieren, das Enzym Saccharase fehlt. Konsequenterweise werden für Rohrzucker nur niedrige Verdauungskoeffizienten genannt (15, 29, 32).

Von HUBER et al. (1961) (25) wird die Saccharoseverdaulichkeit (über konventionelle Kotsammelproben bestimmt) mit 57 % angegeben, bei Kotentnahmen aus dem Rektum in zweistündigen Abständen war dieser Wert auf 32 % erniedrigt. Nach MORILL et al. (1965) liegt die Höhe der scheinbaren Rohrzuckerverdaulichkeit im Gesamtdarmtrakt bei 84 %. Dieselben Autoren sowie HENSCHEL et al. (1963) fanden nach der Dünndarmpassage (Ingestaentnahme aus einer Ileumfistel) ca. 60 % des Test-Kohlenhydrats wieder.

Die Ergebnisse beider Autorengruppen deuten auf eine beträchtliche mikrobielle Saccharosespaltung im Darmtrakt hin.

### 2.2.5.3. Blutzuckeranstieg

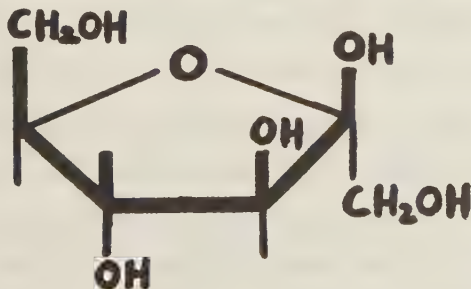
Die Befunde über die Verwertung von Saccharose durch das Kalb stimmen weitgehend überein. Eine Erhöhung des Blutzuckerspiegels über den Nüchternwert nach der Verfütterung von Saccharoselösungen an junge Kalber wurde nicht beobachtet (9, 24, 25, 47, 65). Der Zusatz von Invertase zu Rohrzuckerlösungen erbrachte bei jungen Kälbern einen Anstieg reduzierender Blutzucker, der in dieser Größenordnung auch nach Verabreichung von Dextrose beobachtet werden konnte (5, 47, 65). Die Erhöhung der Blutzuckerkonzentration nach Saccharose- und Invertase-Gaben muß in erster Linie als Folge der Resorption von Glucose gesehen werden, die unter dem Einfluß von Invertase aus Saccharose freigesetzt wird.

### 2.2.6. Fructose

Das Monosaccharid (Ketohehexose) Fructose (Abb. 2) tritt im Tierkörper als Spaltprodukt des Rohrzuckers auf. Hauptsächlich kommt Fructose in Pflanzen vor.

Abb. 2

FRUCTOSE  
Strukturformel (pyranoid Form)  
Schreibweise nach HAWORTH



#### 2.2.6.1. Verträglichkeit

Nach Fructose-Gaben (4,4 g/kg KG in 2,25 Liter Wasser ) berichten SIDDONS et al. (1969) und auch VELU et al. (1960) über starke Durchfälle bei 10 - 50 Tage bzw. 1 - 6 Wochen alten Kälbern. Hingegen wird Invertzucker als Bestandteil einer Milchaustausch-Ration offensichtlich gut vertragen (5). Es muß daran gedacht werden, daß der durchfallfördernde Einfluß von Fructose in wässrigen Testmahlzeiten durch das in Milchaustausch-Rationen vorliegende komplette Nährstoffangebot zurückgedrängt wird.

#### 2.2.6.2. Blutzuckeranstieg

Die Resorption von Fructose nach peroraler Gabe darf bei Kälbern als bewiesen angenommen werden. VELU et al. (1960) beobachteten eine Erhöhung des Blutzuckerspiegels um ca. 40 mg% nach Fructose-Testmahlzeiten (4,4 g/kg KG) bei 1 - 7 Wochen alten Kalbern. SIDDONS et al. (1969) konnten eine Veränderung des Blutzuckerspiegels als Folge einer Fructoseverabreichung bei 10 Tage alten Kälbern nicht erkennen. Bei 30 Tage alten Tieren erhöhte die Verabreichung von 4,4 g Fructose/kg KG den Blutzuckerspiegel um 20 mg%. Auch der Blutglucosespiegel wurde um 16 mg% angehoben. Bei 50 Tage alten Kalbern wurden ähnliche Verhältnisse in der Änderung des Blutzucker- bzw. Glucosespiegels beobachtet.

Nach Fütterung von Invertzucker sind Änderungen des Blutzuckerspiegels beschrieben, wie sie größenordnungsmäßig auch nach Glucosegaben bekannt sind. Diese deutliche Erhöhung des Blutzuckerspiegels dürfte aber auf den Glucoseanteil und nicht auf den Fructoseanteil von Invertzucker zurückzuführen sein.

### 2.2.6.3. Blutfructose und Fructosurie neugeborener Kälber

Unter den Blut-Kohlenhydraten des neugeborenen Kalbes dominiert wie auch bei anderen Säugetieren (Lämmer, Fohlen, Ferkel) die Fructose mit etwa 60 mg% gegenüber der Glucose, deren Konzentration im Blut zur Zeit der Geburt etwa bei 20 - 30 mg% liegt (11). Nach der Geburt wird eine deutliche Erhöhung der Glucosekonzentration auf das 2 - 3fache des Ausgangswertes beobachtet. Dieser Anstieg der Blutglucose, der nach 24 - 30 Stunden abgeschlossen ist, verläuft bei Kälbern prinzipiell unabhängig von der Nahrungsaufnahme. Durchtrennt man jedoch nach 20 Lebensstunden die Splanchnikusnerven, dann liegt der Blutglucosegehalt 24 Stunden alter, gefasteter Kälber mit 49 mg% signifikant ( $p < 0,001$ ) unter dem korrespondierenden Wert gefasteter Kontrolltiere (73,4 mg%) (11). Die Blutfructose wird dagegen in den ersten 24 Lebensstunden auf weniger als 10 mg% erniedrigt. Damit parallel verläuft eine Ausscheidung von Fructose über den Harn (58).

Der Hungerblutfructosegehalt des neugeborenen Kalbes resultiert aus einer Fructose-Synthese in der Placenta. Der Foetus kann, wie das neugeborene Kalb, diese Blutfructose jedoch in nur geringem Ausmaße verwerten. Es wird in diesem Zusammenhang diskutiert, daß der Blutfructose die Rolle eines Reserve-Kohlenhydrats, etwa bei starkem Absinken der Glucose-Konzentration im foetalen Kreislauf, zugesprochen werden könnte.

Die Blutlactat-Konzentration bewegt sich in den ersten Stunden nach der Geburt innerhalb einer relativ weiten Spannweite (15 - 70 mg%). Diese Unterschiede sind möglicherweise als Ausdruck einer verschieden starken Anoxie

während des Geburtsvorganges zu deuten. Auch für Blutlactat wird, wie für die Blutfructose, eine nur geringe Umsatzmöglichkeit im neonatalen Gewebe angenommen.

Wenn 24 Stunden alte nüchterne Kälber eine Fructose-Infusion (15 mg/kg KG. in den ersten 30 Minuten, anschließend bis zur 6. Stunde 2,5 mg/kg KG/Minute) erhalten, dann steigt die Blutfructose bis auf einen Wert von 100 mg% an. Diese Veränderung in der Blutfructose-Konzentration wird begleitet von einer schweren Hypoglykämie, in deren Verlauf die Blutglucose von 80 auf 30 mg% abfällt. Bei einer Wiederholung desselben Experiments an 7 Tage alten Kälbern, waren bereits höhere Fructosemengen notwendig, um eine gleich große Änderung in der Fructose-Konzentration des Blutes zu bewirken. Daraus und aus der Beobachtung, daß die Blutfructose nach Absetzen der Infusion bei 7 Tage alten Tieren schneller ihrem Ausgangswert zustrebte als bei 1 Tage alten Tieren, wird geschlossen, daß in dieser Altersgruppe Fructose im Stoffwechsel umgesetzt werden kann. Diese Annahme wird weiter unterstützt durch den Befund, daß der hypoglykämische Effekt einer Fructose-Infusion bei 7 Tage alten Tieren weit weniger stark ausgeprägt ist als bei neugeborenen. Während des Eintritts der Hypoglykämie bei 1 Tage alten Kälbern, wurde ein meßbarer Anstieg der Konzentration von immuno-reaktivem Insulin im peripheren venösen Plasma nicht beobachtet. Dagegen bestehen aber erste Hinweise, daß im Pfortaderplasma die Insulinkonzentration als Folge einer Fructose-Gabe erhöht wird (11).

### 3. Eigene Untersuchungen

Es sollte geprüft werden, ob und inwieweit Mastkalber Fructose und Saccharose, letztere in Form ihrer monomeren Bausteine, zu resorbieren vermögen. Deshalb wurde an milch-ernährten Kalbern die Erhöhung des Blutglucosespiegels im Jugular- und Portalblut nach Fütterung von Testmahlzeiten gemessen.

#### 3.1. Methoden

##### 3.1.1. Blutglucosebestimmung

##### 3.1.1.1. Prinzip

Zur Messung der Blutglucosekonzentration kam ein enzymatisches Verfahren folgenden Prinzips zur Anwendung: Glucose wird in der durch Hexokinase (HK) katalysierten enzymatischen Reaktion von Adenosintriphosphat (ATP) zu Glucose-6-phosphat (G-6-P) phosphoryliert.



Durch das Enzym Glucose-6-phosphat-Dehydrogenase (G-6-PDH) wird G-6-P von Nicotinamid-adenin-dinucleotidphosphat (NADP) zu 6-Phosphogluconat (6-PG) oxidiert. Es entsteht reduziertes Nicotinamid-adenin-dinucleotidphosphat (NADPH).



Bei der Bildung von 1 Mol 6-PG aus 1 Mol G-6-P wird 1 Mol NADP zu NADPH reduziert. Deshalb kann NADPH als Messgröße dienen. Es wird aufgrund seiner Absorption bei 366 nm bestimmt.

### 3.1.1.2. Reagenzien

(Biochemica-Testkombination GLUCOSE der Fa. Boehringer GmbH, Mannheim)

1. Puffer (0,3 M Triathanolaminpuffer, pH = 7,5, 4 mM  $\text{MgSO}_4$ )
2. NADP (12 mM NADP)
3. ATP (16 mM ATP)
4. HK/G-6-PDH (1 mg HK/ml, 1 mg G-6-PDH/ml)

### 3.1.1.3. Durchführung

Zur Enteiweißung wurde jeweils 1 ml Blut mit 5 ml 0,33 M Perchlorsäure gut durchmischt und anschließend bei 4 000 U/Min 10 Minuten zentrifugiert. Der Überstand (= Probe) wurde in verschließbare Reagenzgläser dekantiert und entweder sofort weiterverarbeitet oder bis zum Zeitpunkt der Untersuchung bei  $-20^\circ \text{C}$  gehalten.

In eine Küvette (1 cm Schichtdicke) wurden nacheinander folgende Lösungen pipettiert

|                   |         |
|-------------------|---------|
| Lösung 1 (Puffer) | 2,6 ml  |
| Probe             | 0,20 ml |
| Lösung 2 (NADP)   | 0,10 ml |
| Lösung 3 (ATP)    | 0,10 ml |

und gemischt. Nach Ablesen der Extinktion  $E_1$  (bei 366 nm) wurde

Lösung 4 (HK/G-6-PDH) 0,02 ml

zugegeben und wiederum gemischt. Nach Stillstand der Reaktion (10 - 15 Min.) ergab sich die Extinktion  $E_2$  ( $\Delta E = E_2 - E_1$ )

#### 3.1.1.4. Berechnung

$$\Delta E \times F_{\text{Substrat}} = \text{Substrat (mg/100 ml Blut)}$$

$F_{\text{Substrat}}$  berechnet sich aus der Gleichung:

$$F_{\text{Substrat}} = \frac{\text{MG}_{\text{Substrat}}}{\epsilon \times d \times 10} \times \frac{V}{v} \times F_{\text{Verdünnung}}$$

Hierbei entsprechen MG dem Molekulargewicht des Substrats und  $\epsilon$  dem Extinktionskoeffizienten von NADPH bzw. NADH bei 366 nm ( $3,3 \text{ cm}^2/\mu\text{Mol}$ ). Die Schichtdicke (d) der Meßküvette betrug 1 cm. Für v wird das zugesetzte Volumen der Probe, für V die Summe aller im Pipettierschema angegebenen Volumina eingesetzt.  $F_{\text{Verdünnung}}$  resultiert aus der Verdünnung, d.h. der Enteiweißung des Blutes mit Perchlorsäure.

$$F_{\text{Verdünnung}} = \frac{(\text{ml Blut} \times \text{spez. Gewicht Blut} \times \text{Wassergehalt Blut})}{\text{ml Blut}} + \frac{\text{ml Perchlorsäure}}{\text{ml Blut}}$$

Für das spezifische Gewicht bzw. den Wassergehalt des Blutes werden 1,06 bzw. 80 % eingesetzt; Faktor = 441,7.  
Glucose

#### 3.1.2. Einfluß der Lagerungsdauer auf die Ergebnisse der Blutglucosebestimmung

Aus technischen Gründen war es nur selten möglich, die enteiweißten Serumproben sofort nach der Entnahme zu analysieren. Um glykolytische Prozesse im Untersuchungsmaterial zu unterbinden, wie sie REISSINGER (1968) bereits nach einer 12 Stunden langen Aufbewahrungszeit bei Kühlschranktemperatur ( $+ 4^{\circ} \text{C}$ ) beschreibt, wurden die Proben bei  $- 20^{\circ} \text{C}$  tiefgefroren. Anschließend wurde an 7 Proben über 26 Tage geprüft, ob bei Tiefkühlkonservierung der Glucosegehalt der Probe sich gegenüber der Ausgangskonzentration (Glucosebestimmung sofort im Anschluß an die Proben Gewinnung) verändert. Die Zwischenuntersuchungen wurden am 3., 5., 7.,

11., 13., 17. und 24. Tag vorgenommen. Die Proben wurden bei Zimmertemperatur aufgetaut, untersucht und anschließend wieder eingefroren (der Auftauprozess und die Analysen dauerten ca. 1 1/2 Stunden).

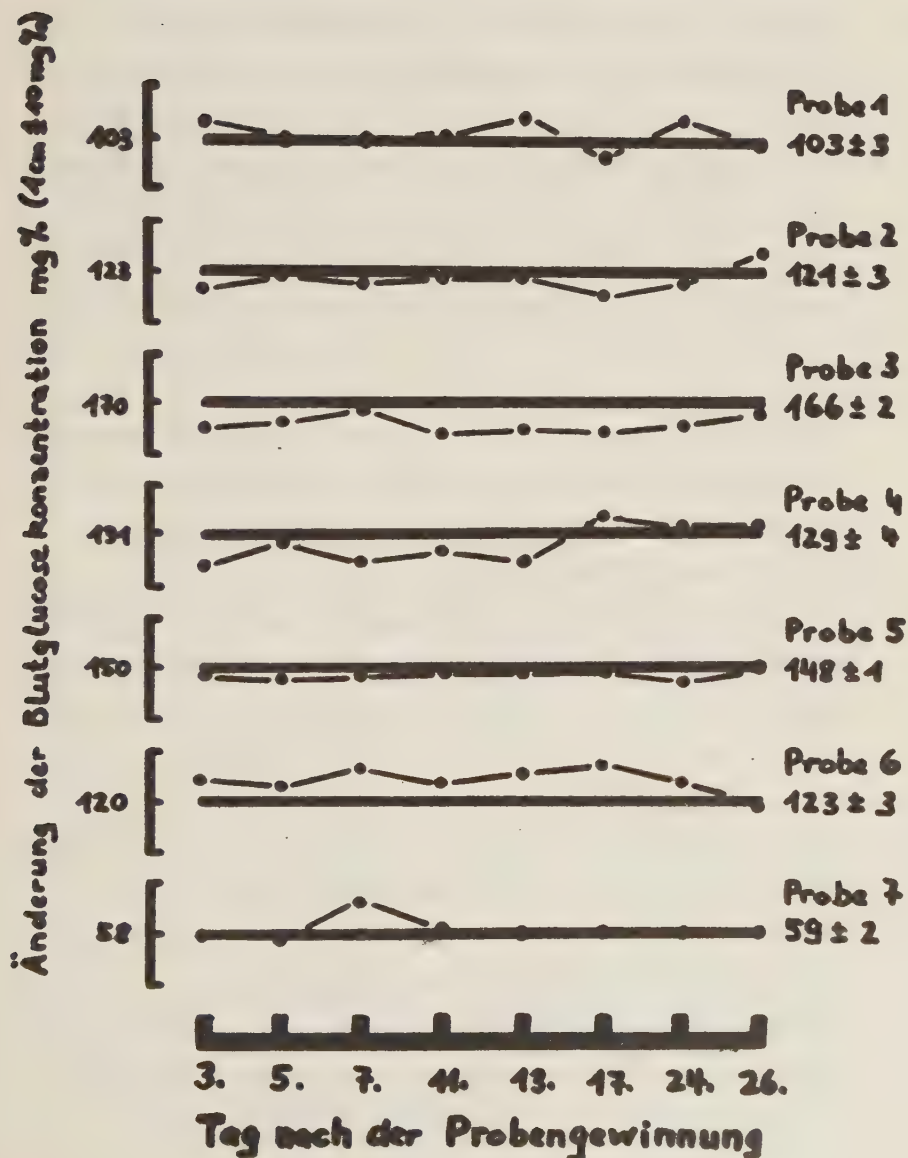
Die Untersuchungsergebnisse sind getrennt für 7 Proben als Änderung der Blutglucosekonzentration (mg/100 ml Blut) gegenüber der 1. Bestimmung sofort nach der Gewinnung in Abb. 3 wiedergegeben. (Die durchgezogene Linie im Koordinatensystem entspricht der zuerst gemessenen Glucosekonzentration)

Im gesamten Untersuchungszeitraum wurden keine gerichteten Abweichungen in der Glucosekonzentration beobachtet. Die Einzelwerte waren zufällig um die zuerst gemessene Blutglucosekonzentration gruppiert.

Die Bestimmung des Mittelwerts aus 9 Einzelanalysen einer Probe erlaubt eine brauchbare Schätzung des Analysenfehlers. Im Mittel aus 7 Proben ergab sich dabei ein Variationskoeffizient von 2,17 %.

Abb. 3

Konstanz der Blutglucosekonzentration  
von 7 Proben während einer 26-  
tägigen Tiefgefrierperiode



### 3.1.3. Katheterisierung der Vena portae

Das Prinzip unserer Operationsmethode bestand darin, in eine Mesenterialhauptvene des Jejunalkröses mit dem Katheder einzugehen und diesen unter palpatorischer Kontrolle in Richtung Pfortader vorzuschieben.

Nach Prämedikation mit Rompun (Fa. Bayer AG, Leverkusen) (0,25 mg Base/kg KG) und lokaler Infiltrationsanästhesie mit 2 %igem Xylocain wurde der etwa 25 cm lange Hautschnitt zweifingerbreit parallel hinter dem rechten Rippenbogen angelegt. Die muskulösen Schichten der Bauchdecke wurden möglichst stumpf durchtrennt. Einige labmagennahe Jejunalschlingen wurden extraabdominal vorgelagert. An einer Stelle zwischen Darmrohr und Darmlymphknoten, an der sich zwei parallel zum Darm verlaufende venöse Anastomosen zu einer Mesenterialhauptvene (welche in die Pfortader einmündet) vereinigen, wurde die Venengabel von umgebender Serosa und Bindegewebe freipräpariert. Hier wurde das Gefäß mit einer Schere eröffnet und der Katheder unter palpatorischer Kontrolle bis in die Vena portae so eingeschoben, daß seine Spitze 1 - 5 cm vor der Leberpforte lag. Anschließend konnten die Gefäßaste ligiert werden. Der mit heparinisierte Kochsalzlösung gefüllte Katheder wurde durch einen Einschnitt in der Bauchwand 3 - 5 cm dorsal des caudalen Wundwinkels nach außen geführt. Die Darmschlingen sowie das Omentum majus konnten dann reponiert und die Bauchdecke bis auf die Hautnaht schichtweise geschlossen werden. Das freie Kathederende wurde noch weitere 10 cm subcutan nach dorsal geführt und dort in einer auf die Haut aufgenahmen Tasche geborgen.

Als das am besten geeignete Kathettermaterial erwies sich ein Silikon-Kautschuk-Schlauch von 1,5 mm Lumendurchmesser. Nach Operationsende wurde das Kalb in einen Stoffwechselkäfig verbracht. Der Katheter wurde an eine Infusionspumpe angeschlossen, über die 1 000 - 1 500 I.E. Heparin/kg KG×Tag in ca. 1 500 ml physiologischer Kochsalzlösung infundiert wurden.

#### 3.1.4. Katheterisierung der Vena jugularis

Die Vena jugularis wurde mit dem Braun'schen Infusionsbesteck (Braunüle Größe 2 der Fa. Braun, Melsungen) punktiert. Die Kanüle konnte je nach Bedarf über 2 ± 5 Tage liegen bleiben.

#### 3.1.5. Tiermaterial

Insgesamt standen 15 Versuchstiere zur Verfügung.

Tabelle 1, Versuchstiermaterial:

| Nummer des Kalbes | Gewicht in kg | Alter in Wochen (geschätzt) | Rasse(+) | Geschlecht |
|-------------------|---------------|-----------------------------|----------|------------|
| 1                 | 67            | 6                           | F        | ♂          |
| 2                 | 80            | 8                           | F        | ♂          |
| 3                 | 80            | 8                           | F        | ♂          |
| 4                 | 85            | 8                           | F        | ♂          |
| 5                 | 88            | 9                           | F        | ♂          |
| 6                 | 100           | 11                          | F        | ♂          |
| 7                 | 117           | 12                          | F        | ♂          |
| 8                 | 124           | 12                          | F        | ♂          |
| 9                 | 125           | 12                          | RB       | ♂          |
| 10                | 130           | 13                          | F        | ♂          |
| 11                | 130           | 13                          | F        | ♂          |
| 12                | 135           | 14                          | B        | ♂          |
| 13                | 136           | 14                          | F        | ♂          |
| 14                | 140           | 14                          | B        | ♂          |
| Jungrind 15       | 300           | 34                          | B        | ♀          |

(+) F = Deutsches Fleckvieh  
 B = Deutsches Braunvieh  
 RB = Rotbuntes Niederungsvieh

Bei der Aufstallung wogen die Kälber ca. 60 kg. Nach einer 7 tägigen Eingewöhnungsperiode erhielten die Tiere die in 3.1.6.1. wiedergegebenen Versuchsrationen.

3.1.6. Milchaustauschfuttersystem und Tränkplan

3.1.6.1. Milchaustauschfutter

Folgende 3 Rationstypen (Rationszusammensetzung in Tabelle 2 a - 2 c) wurden verfüttert:

Tabelle 2a, Rationstyp I

(Lactoseanteil ca. 42 %)

|                                | % der Gesamtration |
|--------------------------------|--------------------|
| Trockenmagermilch (Walzenware) | 74,0               |
| Futterfett                     | 18,0               |
| Lactose                        | 5,0                |
| Dicalciumphosphat              | 1,0                |
| Magnesiumoxid                  | 0,1                |
| Kochsalz                       | 0,2                |
| Calciumchlorid                 | 0,1                |
| Vitamin-Vormischung            | 0,6                |
| Spurenelemente                 |                    |
| Wirkstoff-Vormischung (2)      | 1,0                |
|                                | <hr/> 100,0        |

Tabelle 2b, Rationstyp II

(Lactoseanteil ca. 36 %)

|                           | Prozent der Gesamtration |
|---------------------------|--------------------------|
| Trockenmagermilch         | 72,0                     |
| Futterfett                | 18,0                     |
| Fructose                  | 2,0                      |
| Saccharose                | 5,0                      |
| Dicalciumphosphat         | 1,0                      |
| Magnesiumoxid             | 0,1                      |
| Kochsalz                  | 0,2                      |
| Calciumchlorid            | 0,1                      |
| Vitamin-Vormischung       | 0,6                      |
| Spurenelemente            |                          |
| Wirkstoff-Vormischung (2) | 1,0                      |
|                           | <hr/> 100,0              |

Tabelle 2c, Rationstyp III

(Lactoseanteil ca. 43 %)

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| Trockenmagermilch             | 75,0        |
| Futterfett                    | 15,0        |
| Süßmolkenpulver               | 8,0         |
| Teilentzuckertes Molkenpulver | 0,5         |
| Dicalciumphosphat             | 0,5         |
| Calciumchlorid                | 0,1         |
| Magnesiumoxid                 | 0,1         |
| Vitamin-Vormischung           | 0,5         |
| Spurenelemente                |             |
| Antibiotische Vormischung (3) | 0,3         |
|                               | <hr/> 100,0 |

- (1) Die Vitamin- und Spurenelement-Vormischungen der Rationen I und II (Ration III) enthielten in 6 g (5 g) (= pro kg der fertigen Mischung):  
Vitamin A 24.000 I.E., Vit. D<sub>3</sub> 3.000 I.E., Vit. E . 50 mg, Vit. C 150 mg, Vit. B<sub>12</sub> 20mcg, Vit. B<sub>1</sub> 2 mg, Vit. B<sub>2</sub> 5 mg, Vit. B<sub>6</sub> 2 mg, Cholinchlorid 200 mg, Ca-Panthotenat 5 mg, Nikotinsäure 10 mg.  
Die Spurenelemente wurden als Sulfate verabreicht  
Eisen 20 (40) mg, Mangan 32,5 (16) mg,  
Zink 11,0 mg, Kupfer 7,5 (10)mg.
- (2) Die Wirkstoff-Vormischung enthielt in 10 g (= pro kg) der fertigen Mischung:  
CTC 398 ppm und Furazolidon 50 ppm.
- (3) Die Antibiotika-Vormischung enthielt 40 g CTC/kg.  
Daraus ergab sich eine CTC-Konzentration von 120 ppm im Milchaustauschfutter.

### 3.1.6.2. Tränkplan

Nachdem für alle Kälber einheitlichen Tränkplan erhielten die Versuchstiere, die in Tab. 3 angegebenen Tränkmengen.

Tabelle 3, Tränkschema:

| Versuchswoche | Tränkmenge/Tag<br>(Liter) | Milchaustausch-<br>futter/Liter<br>Tränke (Gramm) | Milchaus-<br>tauschfutter<br>pro Tier und<br>Tag (Gramm) |
|---------------|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. - 2.       | 2 x 4                     | 140                                               | 1.120                                                    |
| 3. - 4.       | 2 x 5                     | 160                                               | 1.600                                                    |
| 5. - 6.       | 2 x 5                     | 200                                               | 2.000                                                    |
| 7. - 14.      | 2 x 6                     | 200                                               | 2.400                                                    |

### 3.1.7. Versuchsanlage

Bei Mastkälbern sollte die Utilisation der Kohlenhydrate Fructose und Saccharose über die Messung der Blutglucose-respons in Jugular- und Portalblut ermittelt werden.

Zum Vergleich wurden die entsprechenden Blutglucosekonzentrationen nach Leermahlzeiten bestimmt.

Die in Tabelle 2a - c wiedergegebenen Milchaustauschfutter wurden entsprechend Tabelle 4 auf die einzelnen Versuchstiere verteilt.

Tabelle 4. Verteilung der Versuchsrationen auf die einzelnen

#### Kälber

| Rationstyp | I             | II        | III                              |
|------------|---------------|-----------|----------------------------------|
| Kälber     | 3, 4, 5,<br>7 | 8, 11, 13 | 1, 2, 6, 9,<br>10, 12, 14,<br>15 |

### 3.1.8. Testmahlzeiten

Den Kälbern wurden die Testkohlenhydrate in wässriger Lösung (ca. 40° C) über Eimer mit Saugnippel gefüttert.

Diese Art der Verabreichungsform wurde gewählt, um einen direkten Transport der Testmahlzeiten über die Schlundrinne in den Labmagen zu gewährleisten. Die Mahlzeiten wurden nach 12 Stunden langem Fasten angeboten. Die Zufuhr des Testkohlenhydrats betrug - so nicht anders vermerkt - 3g/kg Körpergewicht.

### 3.1.9. Blutentnahme

Die Blutproben wurden alle halbe Stunde bis zur 315. Minute nach der Fütterung entnommen. 15 Minuten nach der ersten Blutentnahme wurde die Testmahlzeit angeboten, deren Aufnahme im allgemeinen nach 5 Minuten beendet war.

### 3.1.10. Ergebnisdarstellung

Die Ergebnis-Tabellen enthalten je 4 Wertepaare (Mittelwerte mit Standardabweichung s). Für jede Testmahlzeit geben diese Werte die mittlere Glucosekonzentration (mg Glucose pro 100 ml Blut) von Blutproben aus Vena jugularis und Vena portae der Probanden an.

Wegen ihrer besonderen Aussagekraft wurden folgende 4 Werte gewählt:

1. N = mittlerer Nüchternwert, d.h. die Blutglucosekonzentration 15 Minuten vor Verabreichung der Testmahlzeit.
2. 45 - Min. = mittlerer 45-Minuten-Wert, d.h. die Blutglucosekonzentration 45 Min. nach der Fütterung.
3. max. = mittlerer Maximalwert, das ist die jeweils höchste Blutglucosekonzentration während des gesamten Untersuchungszeitraumes.
4. 5 Stunden = derjenige Mittelwert, der sich aus sämtlichen Blutproben errechnet, die in 315 Minuten nach der Fütterung in halbstündigen Abständen (je Proband 11) entnommen wurden.

Bei grafischen Darstellungen der Ergebnisse wurde der Nüchternwert N mit dem Nullpunkt der Ordinate gleichgesetzt. Aus den Glucosekonzentrationskurven geht folglich nur die Änderung im Verlauf des Untersuchungszeitraumes gegenüber dem Ausgangswert N hervor. (1 cm = 10 mg% Glucose). Auf der Abszisse ist der zeitliche Abstand, in dem die einzelnen Proben vom Zeitpunkt der Mahlzeit gewonnen wurden, aufgetragen.

### 3.2. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.2.1. Das Blutglucoseverhalten nach Leermahlzeit bei 6 Saugkalbern und 1 Jungrind

Bei 6 Kälbern im Alter von 9 - 14 Wochen und einem 8 Monate alten Jungrind wurde die Glucosekonzentration nach einer Wassermahlzeit ( 2 Liter ad libitum) im Blut der Vena jugularis und der Vena portae gemessen.

Die Tiere waren bislang mit einem Milchaustauschfutter ernährt worden, das ca. 40 % Lactose (Rationstyp I und III) enthielt. Nach 36 stündiger Fastenperiode (Ausnahme Kalb 5: 12 Stunden) wurde die Wassermahlzeit von den Probanden meist gut aufgenommen. Durchfall-erscheinungen konnten in der Regel nicht beobachtet werden.

Der Verlauf der Blutglucosekonzentrationsänderung bei den einzelnen Kälbern ist in Abb. 4 und 4a wiedergegeben.

In der V. jugularis lagen die Einzelwerte der Blutglucosekonzentration im allgemeinen in der Nähe des Nüchternniveaus. So unterschieden sich die Nüchternwerte N nicht von den mittleren 5-Stunden Werten im Durchschnitt der Kalber 5, 14 und 15.

Unterschreitungen um 1 bzw. 28 mg% traten jedoch auf (Kalb 6 und 10). Bei diesen beiden Kälbern lagen die genannten maximalen Unterschiede zum Ausgangsniveau am Ende des Untersuchungszeitraumes (315 bzw. 285. Min. nach Testmahlzeit). Bei beiden Kälbern betrug die Differenz des mittleren 5-Stunden-Wertes zum Nüchternwert aber nur -8 bzw. -12 mg%.

Der höchste Anstieg der Glucosekonzentration im Jugularblut zeigte sich bei den Kälbern 5, 9, 12 und 15 (im Mittel

Abb. 4

# Blutglucoseverhalten nach LEERMAHLZEIT in V.jugularis(o--o) und V.portae (●—●) bei drei Kälbern

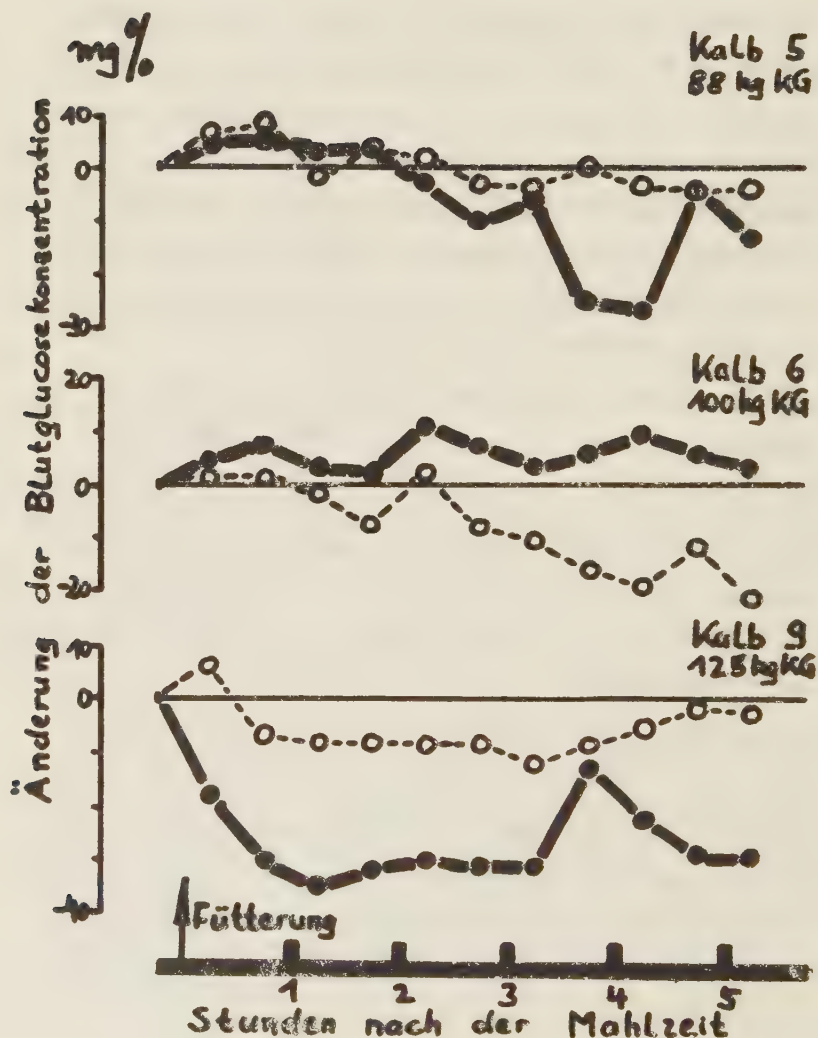
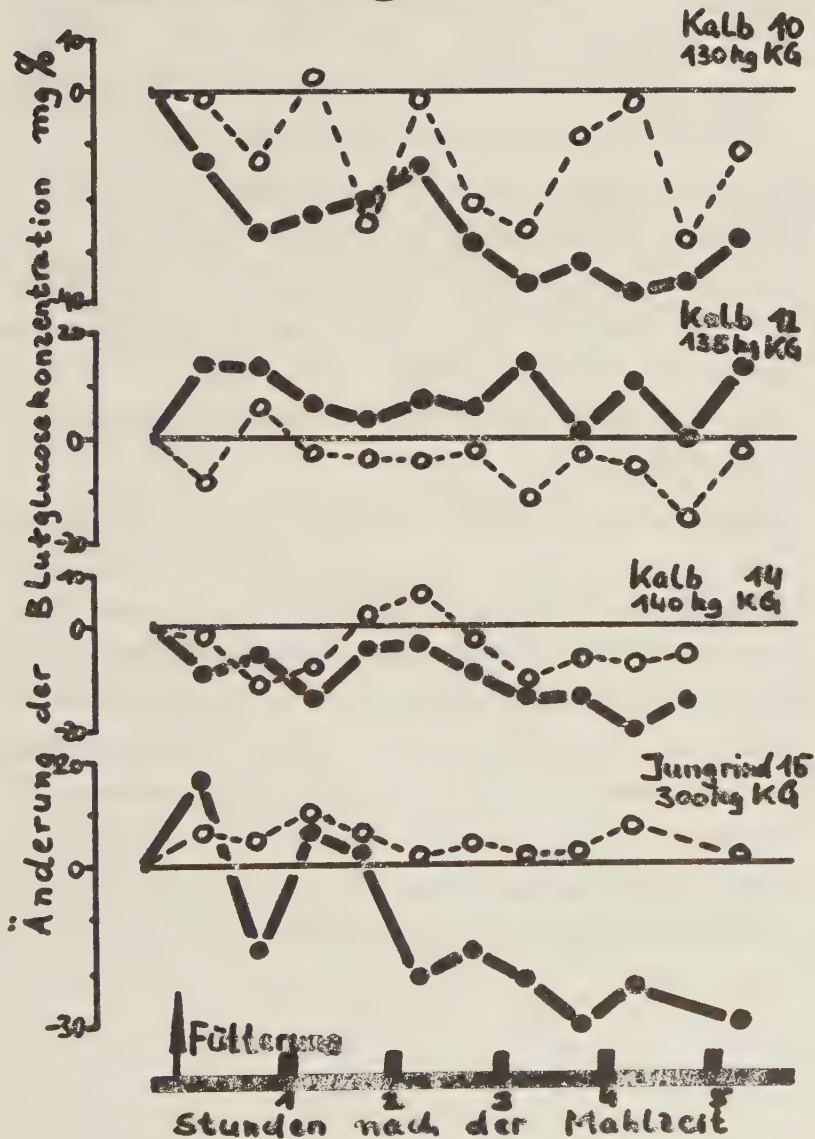


Abb. 4a Blutglucoseverhalten nach  
LEERMAHLZEIT in V.jugularis(o--o)  
u. V.portae (●—●) bei drei Kälbern  
und einem Jungrind



mit 8 mg%). Er fand sich innerhalb der ersten 75 Minuten nach der Fütterung.

Im Pfortaderblut dagegen war ein Abfall der Glucosekonzentration bei der Mehrzahl der Kälber (5, 9, 10, 14, 15) über den Gesamt-Untersuchungszeitraum deutlich ausgeprägt. Bei den oben im einzelnen aufgeführten Kälbern 5, 14 und 15 lag der mittlere 5-Stunden-Wert der Portalblutglucose um 10 mg% unter dem korrespondierenden Nüchternwert.

Die Abfallsmaxima fanden sich in der Regel erst nach der 4. Stunde (255. Minute) nach Fütterung (Kalb 5, 10, 14, 15). Sie lagen beispielsweise im Mittel der genannten 4 Kälber um 28 mg Glucose/100 ml Blut unter den zugehörigen Nüchternwerten. Im Gegensatz dazu trat bei den Kälbern 6 und 12 stets eine positive Änderung der Glucosekonzentration im Portalblut auf.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der Nüchternwert sowohl im Portal- als auch im Jugularblut häufiger unterschritten als übertroffen wurde, wobei zwischen den Kälbern erhebliche Unterschiede bestanden. Jedoch schien die negative Glucosekonzentrationsänderung im Blut beider Gefäße mit der Zeit nach der Fütterung positiv korreliert zu sein und sich bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes fortzusetzen.

Zur Ergänzung der Grafik werden die absoluten Blutglucosekonzentrationen im Mittel aller Kalber tabellarisch (Tab. 5) aufgeführt.

Tabelle 5. Glucosekonzentrationen (mg%) im Jugular- und Portalblut bei 6 Kalbern und 1 Jungrind nach Leermahlzeiten:

|           | V.jugularis | V. portae   |
|-----------|-------------|-------------|
| N         | 57          | 63          |
| 45 Min.   | 56          | 56          |
| max.      | 63          | 66          |
| 5 Stunden | 53 $\pm$ 10 | 54 $\pm$ 13 |

Durch den Vergleich des Nüchternwertes mit dem mittleren 315 Minuten Wert wurde der Abfall der Blutglucosekonzentration in beiden Gefäßen bestätigt. Diese negative Konzentrationsänderung war im Portalblut stärker ausgeprägt als im peripheren Venenblut (9 mg% bzw. 4 mg%).

Die Konzentrationsmaxima lagen in der V.jugularis um 6, in der V.portae um 3 mg Glucose/100 ml Blut über dem Nüchternwert. Sie wurden beide durchschnittlich 75 Minuten nach der Mahlzeit gemessen.

Der zu Beginn des Untersuchungszeitraumes bei den Kälbern 5, 9 und 12 aufgetretene kurzfristige Glucoseanstieg im Jugularblut beeinflusste den mittleren 45 Minuten-Wert von allen Tieren kaum merklich.

Zur Untersuchung des offensichtlich vorhandenen, mit zunehmender zeitlicher Entfernung von der Mahlzeit immer stärker werdenden Abfalls der Blutglucosekonzentration wurden die Einzelwerte nach Zeitgruppen geordnet. Über die einzelnen Daten orientiert Tabelle 6.

Tabelle 6, Blutglucoseverhalten nach Leermahlzeiten in  
Abhängigkeit vom Beobachtungszeitraum (1 Zeitgruppe =  
4 Entnahmezeitpunkte )

| Zeitgruppe              | Mittlere Glucosekonzentration (mg%) |          |                         |
|-------------------------|-------------------------------------|----------|-------------------------|
|                         | V.jugularis                         | V.portae | Mittelwert <sup>+</sup> |
| I. (N - 75. Min.)       | 57                                  | 60       | 58                      |
| II. (105. - 195. Min.)  | 52                                  | 54       | 53                      |
| III. (225. - 315. Min.) | 50                                  | 48       | 49                      |

<sup>+</sup>GD<sub>p</sub> < 0,05 = 3 mg% (n = 164)

Die mittleren Glucosekonzentrationen von Jugular- und Portalblut unterschieden sich mit 53 bzw. 54 mg% kaum voneinander. Diese Feststellung gilt auch für die Jugular- und Portalblutwerte der einzelnen Zeitgruppen.

Im Mittel beider Blutentnahmeorte wurden innerhalb der I. Zeitgruppe (N - 75. Min.) 58 mg% Glucose gemessen. Der durchschnittliche Wert der II. Zeitgruppe (105. - 195. Min.) lag mit 53 mg% signifikant ( $p < 0,01$ ) unter der Glucosekonzentration von Zeitgruppe I. Zeitgruppe III lag ebenfalls mit 49 mg% Glucose unter dem Meßwert der vorangegangenen Zeitgruppe ( $p < 0,05$ ).

### 3.2.1.1. Diskussion:

Aus den vorgelegten Daten ergibt sich als auffälligster Befund, daß nach einer nährstoff-freien Mahlzeit bei Kalbern mit einem Absinken des Blutglucosespiegels zu rechnen ist. Diese Feststellung bezieht sich auf einen Untersuchungszeitraum von 5 Stunden. Sie bedarf zu ihrer leichteren Einordnung der zusätzlichen Angabe, daß die zum Test herangezogenen Kalber vor Verabreichung der Leermahlzeit eine 36-stündige Fastenperiode (mit Ausnahme eines Kalbes) durchlaufen hatten.

Die Verringerung der Glucosekonzentration betraf in etwa gleichem Maße peripher-venöses (Jugular-) und Pfortaderblut. Dieser Befund steht im Einklang mit Untersuchungen von SIDDONS und Mitarbeiter (1969). Auch hier wurde im Mittel der 3 Stunden nach einer Wassermahlzeit bei 10, 30 und 50 Tage alten Kälbern ein gegenüber den Ausgangswert verminderter Blutglucosespiegel gemessen.

Ein etwaiges Ansteigen der Blutglucosekonzentration nach einer nährstoff-freien Mahlzeit hätte auch nicht erwartet werden dürfen. Daß dennoch bei 3 Kälbern (5, 9, 12) im Anschluß an die Mahlzeit (15 Min. nach der Fütterung) ein Glucoseanstieg im Jugularblut um durchschnittlich 8 mg gemessen werden konnte, läßt sich sicherlich nicht als postalimentäre Hyperglykämie deuten. Hier wird vielmehr eine reflektorische Reizung des sympathischen Nervensystems angenommen. Verstärkte Sympathikusaktivität führt über eine Ausschüttung des Nebennierenmarkhormons Adrenalin zu einer Erhöhung des Blutglucosespiegels. Es ist bekannt, daß der Blutglucoseanstieg bei neugeborenen Kälbern ausschließlich sympathisch bedingt ist (11). Er tritt auch bei Ausbleiben eines Nahrungsangebotes auf.

Es konnte beobachtet werden, daß eine reflektorische Erregung der Kälber, wie sie im Normalfall nach Verabreichung einer Milchtränke registriert werden kann (reger Speichelfluß, Schäumen aus der Mundhöhle), auch nach Wassermahlzeiten auftrat.

Das Absinken der Blutglucosekonzentration innerhalb von 5 Stunden nach einer Pseudomahlzeit kann als "Fasteneffekt" erklärt werden. Bei andauerndem Glucoseverbrauch durch das Gewebe und ausbleibender exogener Glucosezufuhr muß der Blutglucosespiegel sinken, wenn Glykogenvorräte (vornehmlich in der Leber) nur begrenzt zur Verfügung stehen und die Fähigkeit zur Glucoseneogenese nicht entsprechend ausgeprägt ist. Die Leberglykogenreserven des kohlenhydratreich gefütterten Kalbes dürften, soweit von entsprechenden Werten bei Hunden (die Hundeleber enthält, abhängig vom Ernährungsregime, ca. 6 - ca. 19 % Glykogen (12)) geschlossen werden darf, weniger als 20 % des Lebergewichts betragen.

Ein Absinken des Blutglucosespiegels wurde auch beim fasten den Menschen beschrieben. So beobachteten ANDERSON et al. (1972) bei gesunden Menschen ein deutliches Absinken des Blutplasma-

Glucosespiegels während einer 4 Tage langen Fastenperiode. Umgerechnet auf den Gesamtblut-Glucosespiegel konnten die Autoren am 1. Fastentag durchschnittlich 84 mg Glucose/100 ml Blut messen, am 2. Fastentag noch 74 mg%, am 3. und 4. Tag lediglich noch 64 und 65 mg%. Dieses Absinken des Blutglucosespiegels fastender Menschen wird auch von anderen Untersuchern bestätigt.

Ein weiteres Absinken der Glucosekonzentration in einen das Leben gefährdenden Bereich ( $\leq 20$  mg%) wird durch Gluconeogenese und Reduktion der peripheren Glucoseutilisation verhindert. Bei ausgeprägter Glucoseknappheit können sogar vom Gehirn flüchtige Fettsäuren als Energiequelle genutzt werden (8).

Ein auffälliges Charakteristikum des Blutglucoseverhaltens nach Pseudomahlzeiten war weiter, daß die Glucosekonzentration des Portalblutes im Verlauf der Untersuchung einem stärkeren Abfall unterworfen war als der Glucosegehalt des Jugularblutes. So betrug die Differenz zwischen Nüchternwert <sup>im Portalblut</sup> und Glucosekonzentration, die in der III. Zeitgruppe nach Tabelle 6 (225. - 315. Min.) ermittelt wurde, 15 mg%. Der korrespondierende Jugularblutwert wurde nur mit 7 mg% bestimmt. Obwohl dem oben ausgewiesenen Unterschied keine Signifikanz zukommt, könnte er dennoch nicht rein zufällig bedingt sein. Der Glucoseverbrauch des Darmes stellt hier eine schwer einzuordnende Größe dar, die möglicherweise die beobachtete Differenz zu erklären vermag. Hinzu kommt noch, daß Darmgewebe sich an Glucose als Energiequelle verhältnismäßig leicht adaptiert, wie von SCHAMMER et al. (1967) bei Ratten nach langer dauerndem Angebot einer Hoch-Kohlenhydrat-Ration nachgewiesen werden konnte. Der Darm des Kalbes könnte

daher ebenfalls auf die normalerweise relativ reichliche Glucosezufuhr über die Nahrung eingestellt sein und sich somit durch einen hohen Glucoseverbrauch auszeichnen.

### 3.2.2. Das Blutglucoseverhalten nach Fructosegabe (3 g/kg KG) an nüchterne (12 Stunden gefastete) Kalber

Bei 6 Kälbern im Alter von 6 - 12 Wochen wurde die Blutglucosekonzentration nach Gabe von 3 g Fructose/kg KG in der V.jugularis und der V.portae gemessen.

Das Milchaustauschfutter der Probanden enthielt ca. 40 % Lactose (Rationstypen I bis III).

Die Testmahlzeiten wurden gut aufgenommen. In der Regel traten in der 3. - 4. Stunde nach der Mahlzeit Durchfallerscheinungen auf. Meist wurde im Untersuchungszeitraum mehrfach dünnflüssiger Kot abgesetzt.

In den eingangs zitierten Untersuchungen (61, 65) wurde nach Fructosegaben stets der Gehalt reduzierender Zucker im Blut bestimmt. Der in der Regel beobachtete Anstieg dieser Zucker im Blut als Folge einer Fructose-Mahlzeit überrascht nicht sonderlich. Fructose als Monosaccharid kann direkt im Dünndarm resorbiert werden (wobei allerdings ein erleichterter passiver Transport im Gegensatz zum aktiven Transport von Glucose und Galactose angenommen werden muß).

In der vorliegenden Arbeit interessierte jedoch, ob resorbierte Fructose auch eine Blutglucose-Erhöhung herbeiführt. Eine Umwandlung von Fructose in Glucose ist bereits im Darmepithel möglich und auch bekannt. (31, 59). Sie würde dann zu einer Glucosekonzentrations-Erhöhung im Portalblut führen. Abhängig von der Glykolyserate in der Leber kann auch

Abb. 5 Blutglucoseverhalten nach  
FRUCTOSE-Gabe (3g/kgKG) an drei  
Kälber in V.jugularis (o--o) und  
V.portae (●—●)

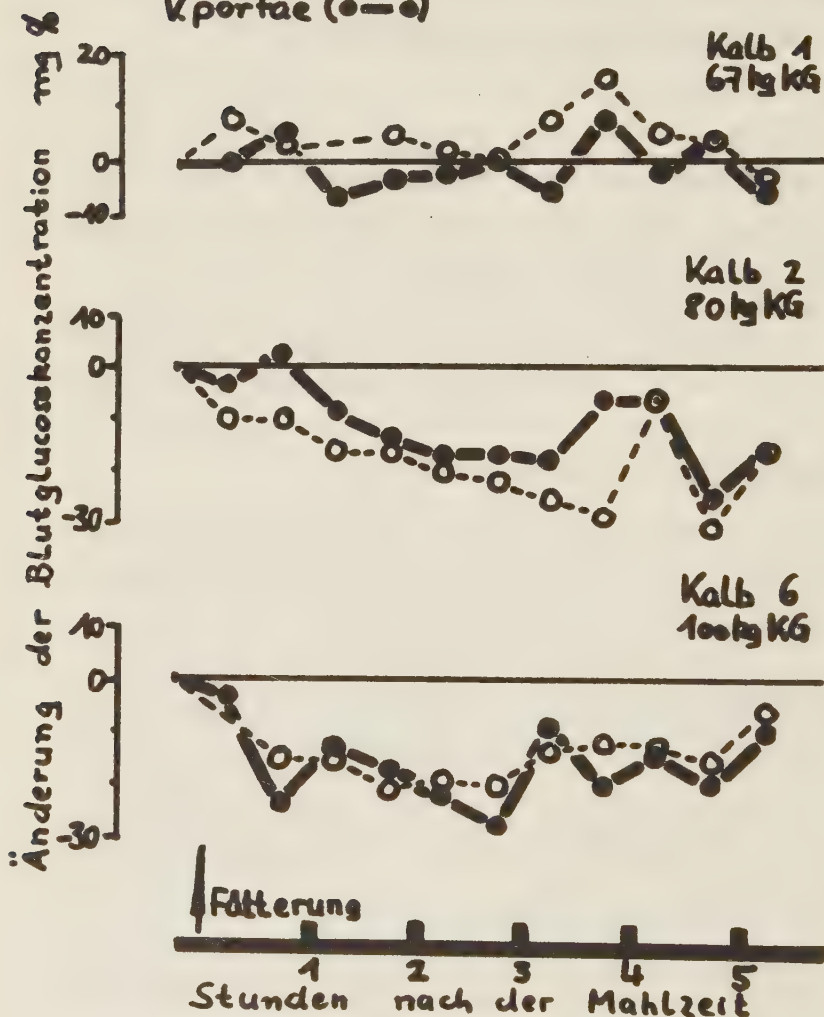
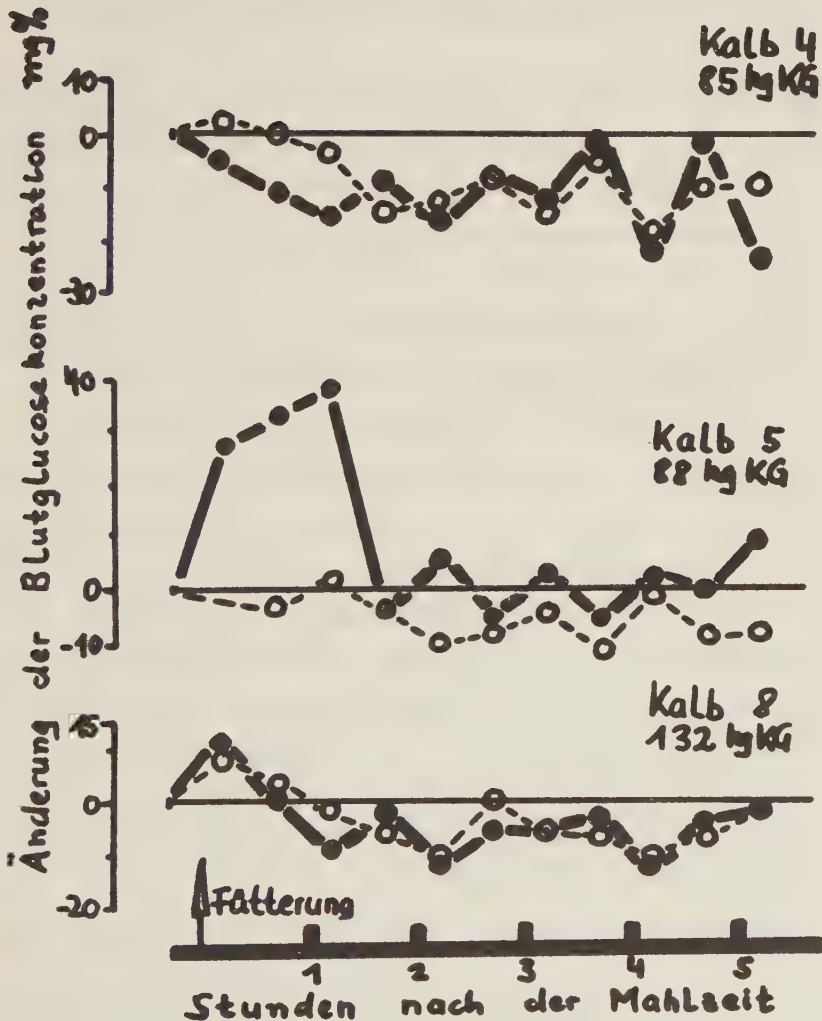


Abb. 5a Blutglucoseverhalten nach  
FRUCTOSE-Gabe (3g/kg KG) an drei  
Kälber in V.jugularis (o--o) und  
V.portae (●--●)



hier phosphorylierte und dann epimerisierte Fructose als Glucose freigesetzt werden. Eine Blutglucose-Erhöhung wäre dann aber zumindest vorwiegend nur im Jugularblut zu finden. Der Verlauf der Blutglucosekonzentrations-Änderung bei den einzelnen Kalbern ist in den Abbildungen 5 und 5a wiedergegeben.

Der Blutglucosespiegel lag mehrheitlich sowohl im peripheren als auch im prähepatischen venösen Blut unter dem Nüchternwert. So wurde z. B. bei den Kälbern 4, 6, und 8 der gemittelt 5-Stunden Glucosegehalt des Jugularblutes (Portalblutes) mit 43 (50), 48 (50) bzw. 48 (56) mg% nur geringfügig unterhalb der entsprechenden Nüchternwerte mit 52 (63), 62 (66) bzw. 50 (60) mg% bestimmt. Eine nennenswerte Resorption von Fructose in Form von Glucose war nicht erkennbar.

Die Verringerung der Glucosekonzentration verlief in Portal- und Jugularblut nahezu gleich in Richtung und Ausmaß. Ein so deutlicher Konzentrationsabfall gegen das Ende des Untersuchungszeitraums, wie er nach Leermahlzeit (Kalber vorher ca. 36 Stunden gefastet) häufig auftrat, war nach Fructosegabe auch im Einzelfall allerdings nicht ausgeprägt. Hier könnte ein Zusammenhang mit der kürzeren Fastenperiode (12 Stunden) vor Verabreichung der Fructose-Mahlzeit bestehen. Der Glucose-Spiegel lag aber in der Regel im Pfortaderblut etwas höher als im peripheren Blutstrom.

Abweichend von den anderen Probanden stieg der Blutglucose-Spiegel im Portalblut bei Kalb 5 während der ersten 1 1/2 Stunden nach der Fütterung erheblich an (40 mg%). Weiterhin bestand bei Kalb 1 ein Glucosekonzentrations-Anstieg im Blut beider Gefäße (in der Pfortader starker ausgeprägt) in der 1. sowie zwischen der 3. und 5. Stunde nach der Fütterung.

Die absoluten Werte der Blutglucosekonzentrationen bestätigen, daß nach oraler Gabe von 3 g Fructose/kg KG im peripheren Blutstrom keine Glucoserespons erfolgte (Tab. 8).

Tabelle 8. Mittlere Glucosekonzentrationen (mg%) nach Fructosemahlzeit im Blut der V.jugularis und der V.portae bei 6 Kälbern

|           | V.jugularis | V.portae   |
|-----------|-------------|------------|
| N         | 56          | 61         |
| 45 Min.   | 53          | 61         |
| max.      | 58          | 70         |
| 5 Stunden | 49 $\pm$ 4  | 55 $\pm$ 7 |

Im venösen Jugularblut lag die maximale Glucosekonzentration nur um durchschnittlich 2 mg% über dem Nüchternwert. Die mittlere 5 Stunden-Konzentration war durchschnittlich um 7 mg% niedriger als der Ausgangswert.

Ein höheres Glucoseniveau als im peripheren Blut fand sich in der Pfortader im Vergleich der Nüchternwerte (56 bzw. 61 mg%). Diese Differenz von 5 mg% wird in allen folgenden Parametern nicht unterschritten. So wurde im Gesamtuntersuchungszeitraum im Jugularblut mit 49 mg% ein um 6 mg% geringerer Spiegel als im Portalblut (55 mg%) ermittelt.

Als einziger Parameter scheint der maximale Blutglucosegehalt einen Hinweis zu erlauben, daß doch, im Gegensatz zu den bisherigen Befunden, eine zwar kurzfristige aber meßbare Glucoseresorption nach Fructosegabe stattfand. Der Maximalwert im Portalblut (Jugularblut) lag mit 70 (58) mg% Glucose um 9 (2) mg% über dem korrespondierenden Nüchternwert. Im Blut beider Gefäße trat dieser höchste Glucoseanstieg in der 135. Min. nach der Fütterung auf.

### 3.2.2.1. Diskussion

Die Resorption von **Fructose** ist von der enzymatischen Ausstattung des Darmepithels unabhängig. Dennoch kommt es nach Fructosegabe nicht zu einer nennenswerten Anflutung von Fructose im Jugularblut (16).

Der Glucoseblutspiegel in V. jugularis und V. portae wird ebenfalls nicht erhöht. So unterschied sich der Glucosespiegel nach Fructosemahlzeit (3 g/kg KG) im Jugular- bzw. Portalblut 45 Min. nach der Fütterung um -3 mg% bzw. 0 mg% vom zugehörigen Nüchternwert. Die mittlere 5 Stunden-Konzentration wurde im peripheren bzw. praehepatischen venösen Blut mit durchschnittlich 7 mg% bzw. 6 mg% unter dem Nüchternniveau bestimmt (Tab. 8).

Dieser Befund steht im deutlichen Gegensatz zu den Ergebnissen von VELU et al. (1960) sowie von SIDDONS et al. (1969). In beiden Untersuchungen wurde ein Ansteigen der Konzentration reduzierender Zucker im Blut nach Fructosemahlzeit gemessen.

Bei der Messung reduzierender Blutzucker wird neben Glucose auch Fructose erfaßt.

Auch wenn die Spezifität der Angabe reduzierender Blutzucker aus methodischen Gründen angezweifelt werden muß, so behalten die Blutglucosedaten von SIDDONS et al. (1969), die sich zahlenmäßig nicht grundsätzlich von den Werten für reduzierende Zucker unterscheiden, ihre Gültigkeit. Insofern können diese Werte doch direkt mit den hier vorgelegten Ergebnissen verglichen werden.

Fructose wird im Gegensatz zu Glucose passiv (d.h. nicht entgegen einen Konzentrationsgradienten) transportiert.

Der Umfang der Fructose-Resorption ist daher abhängig von der Fructose-Konzentration im Darmlumen und daher auch von der Fructose-Konzentration der Testmahlzeit. Daraus ergibt sich, daß die von SIDDONS et al. (1969) und VELU et al. (1960) gemessene Erhöhung der Blutzuckerkonzentration nach Fructose-Gabe nicht im unerklärlichen Widerspruch zu den eigenen Befunden steht. Von beiden Arbeitsgruppen wurden jeweils 4,4 g Fructose/kg KG in einem gleichen Volumen (ca. 2 Liter) angeboten. Die unterschiedliche Blutzuckerrespons mag durch die verschiedenen hohen Fructose-Gabe und Konzentration in der Testmahlzeit eine hinreichende Erklärung finden.

Die Umwandlung von Fructose zu Glucose bereits in der Darmzelle, die bei Mensch, Ratte und Meerschweinchen, allerdings in unterschiedlichem Ausmaß beschrieben ist (31, 68), tritt beim Kalb offensichtlich nicht auf. Auch für den von mehreren Untersuchern (31, 59, 59) beschriebenen Weg der Fructose-Umwandlung in der Darmzelle zu Lactat geben die Untersuchungen von GROPP (1973) keinen Anhaltspunkt.

Offensichtlich aber wird auch nach einer Fructosemahlzeit von 3 g/kg KG relativ wenig Fructose resorbiert. Dies wird erhärtet durch den ca. 2 - 3 Stunden nach der Mahlzeit auftretenden Spontandurchfall sowie durch die Befunde von GROPP und SCHULZ (1973), die bereits in der ersten nach einer Fructosemahlzeit abgesetzten Spontan-Kotprobe Fructose nachweisen konnten. Der augenfällige Abfall der Blutglucose-Konzentration nach Fructose-Gaben (4,4 g/kg KG) wurde bisher bei älteren Kalbern nicht beschrieben. Nur in einer Untersuchung konnte 2 Stunden nach Infusion von ca. 0,42 g Fructose/Stunde\*kg KG in eine Duodenalfistel ein Absinken

des Blutglucosespiegels erkannt werden (61). Bei 1 und 7 Tage alten Kälbern wurden dagegen nach Fructose-Infusion weit ausgeprägtere Änderungen des Blutglucose-Spiegels beobachtet (11).

3.2.3. Das Blutglucoseverhalten nach Saccharose-Gabe (3 g/kg KG) an nüchterne (12 Stunden gefastete) Kalber.

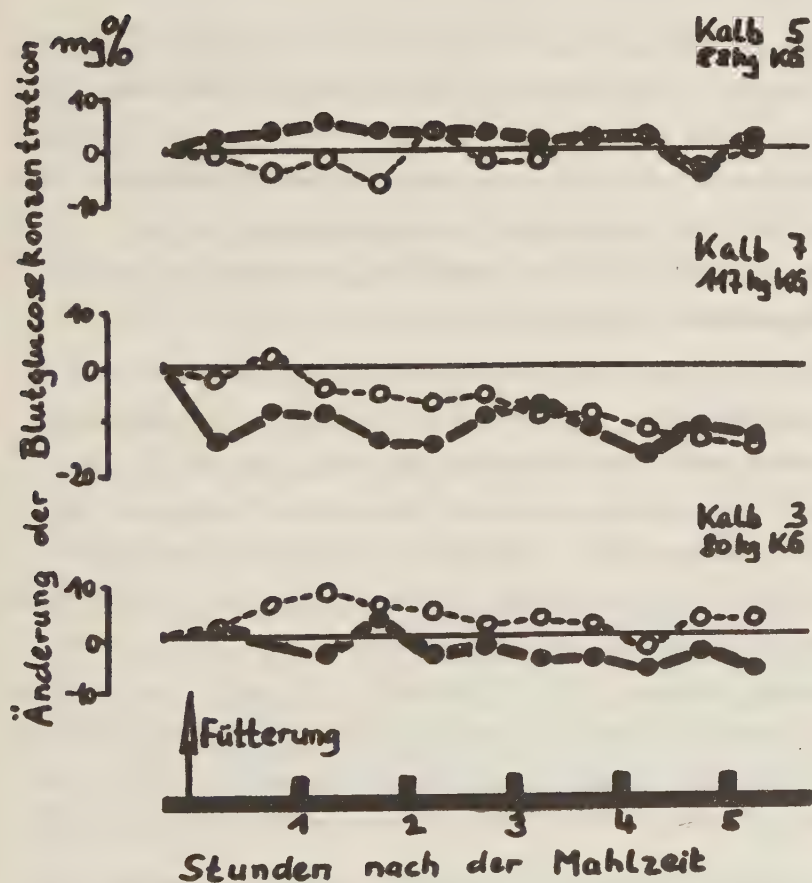
Bei 3 Kälbern im Alter von 8 - 12 Wochen wurde die Blutglucosekonzentration in der V. jugularis und der V. portae über einen Zeitraum von 5 Stunden nach einer Mahlzeit von 3 g Rohrzucker/kg KG bestimmt.

Diesen Kälbern war bislang ein Saccharose-freies Milchaustauschfutter, das ca. 40 % Lactose enthielt (Rationstyp I ) angeboten worden.

Die Saccharose-Mahlzeiten (ca. 2 Liter Wasser) wurden spontan aufgenommen. Sie führten jedoch bei allen Probanden zu Durchfallerscheinungen, die ab der 2. Stunde nach der Mahlzeit einsetzten (mehrfaches Absetzen von dünnflüssigem Kot).

Wenn Saccharose im Darmtrakt des Kalbes zu Glucose und Fructose gespalten wird und die Saccharose-Bausteine anschließend resorbiert werden, müßte sowohl eine Konzentrationserhöhung reduzierender Blutzucker als auch eine Blutglucoseerhöhung in der Folge einsetzen. (siehe 3.2.4). Es ist aber bekannt, daß bisher perorale Saccharose-Gaben an Kälber und Jungrinder zu keiner Erhöhung der Blutzuckerkonzentration führten (9, 24, 25, 47, 55). Dies überrascht nicht, da der Familie der Wiederkauer das Enzym Saccharase generell zeitlebens fehlt. Alle zitierten Ergebnisse und Schlußfolgerungen stützten sich aber ausschließlich auf Jugularblutdaten.

Abb. 6 Blutglucoseverhalten nach  
SACCHAROSE-Gabe (3g/kg KG) an drei  
Kälber in V.jugularis (o---o) u. V.portae (●—●)



Unsere Ergebnisse, die aus Untersuchungen des Jugular- und Portalblutes resultieren, bestätigen ebenfalls die bekannten Untersuchungen (Abb. 6).

Bei den Kälbern 3 und 5 lag der Blutglucosespiegel (beider Gefäße) im Gesamtuntersuchungszeitraum auf Nüchternniveau. Bei diesen beiden Probanden wurde die gemittelte 5-Stunden Glucose-Konzentration des Jugularblutes (Portalblutes) mit 58 (58) bzw. 42 (45) mg% lediglich um + 4 (-2) bzw. -1 (3) mg Glucose/100 ml Blut höher bzw. niedriger als die entsprechenden Nüchternwerte bestimmt.

Bei Kalb 7 war der Blutglucoseabfall im peripheren und prähepatischen venösen Blut etwas stärker ausgeprägt. Die durchschnittliche Glucosekonzentration in der Zeit nach der Fütterung wurde hier im Jugularblut (Portalblut) mit 58 (61) mg% gemessen. Verglichen mit dem Nüchternwert entspricht dieser Mittelwert einem Absinken des Glucose-Spiegel um durchschnittlich 7 (11) mg/100 ml Blut. Die Abfallsmaxima lagen mit -15 (V.jugularis, 285. Min.) bzw. - 16 mg% Glucose (V.portae, 255. Min.) im letzten Drittel des Untersuchungszeitraumes. Hier besteht eine Ähnlichkeit mit dem Blutglucoseverhalten nach Wassermahlzeiten (Abb. 1, 1a).

Für alle Kälber kann als gültig festgehalten werden, daß die Änderung der Glucose-Konzentration im Jugular- und Portalblut in Ausmaß und Richtung nahezu gleich verlaufen war.

Eine Resorption von Saccharose-Bausteinen in Form von Glucose fand mit Sicherheit nicht statt, wie auch die gemittelten Daten von Tabelle 9 bestätigen.

Tabelle 9, Mittlere Glucosekonzentrationen (mg%) im Jugular- und Portalblut bei 3 Kälbern nach Saccharose-mahlzeit

|           | V. jugularis | V. portae  |
|-----------|--------------|------------|
| N         | 54           | 58         |
| 45 Min.   | 55           | 55         |
| max.      | 59           | 59         |
| 5 Stunden | 53 $\pm$ 9   | 55 $\pm$ 9 |

Im peripheren Venenblut (Pfortaderblut) lag die mittlere 5-Stunden-Glucosekonzentration mit 53 (55) mg% nur um 1 (3) mg% unter dem korrespondierenden Nüchternwert, der mit 54 (58) mg Glucose/100 ml Blut bestimmt wurde.

Die 15 Min. vor der Fütterung im Pfortaderblut vorhandene höhere Glucosekonzentration im Vergleich zum Jugularblut (4 mg%) findet sich in den 3 weiteren Parametern der Tabelle 9 nicht mehr auf.

Der maximale Konzentrationsanstieg wurde im Jugular- bzw. Portalblut durchschnittlich in der 105. Minute nach der Fütterung mit 5 bzw. 1 mg% gemessen. Diese geringfügigen Schwankungen des Blutglucosespiegels können nicht als Ausdruck einer Glucoseresorption gelten.

3.2.4. Das Blutglucoseverhalten nach Invertzuckergabe (3 g bzw. 1,5 g/kg KG) an nüchterne (12 Stunden gefastete) Kälber

Bei 3 Kälbern im Alter von 9 - 12 Wochen wurde die Glucosekonzentration nach einer Mahlzeit von 3 g bzw. 1,5 g Invertzucker/kg KG (Kalb 7 und 8 3 g, Kalb 5 1,5 g) im Jugular- und Portalblut gemessen.

Das invertzucker-freie Milchaustauschfutter der Erbsenden

enthielt ca. 40 % Lactose (Rationstypen I und II).

Die Testmahlzeiten wurden gut aufgenommen. Durchfallserscheinungen wurden kaum beobachtet.

Verschiedene Autoren (5, 47, 65) berichten über eine deutliche Blutzuckerrespons nach oraler Gabe von Invertase vorbehandelter Saccharose an Kälber. Die Verabreichung von Saccharose und Invertase läßt vergleichbare Ergebnisse wie nach Invertzuckergabe erwarten.

Konsequenterweise wurde in vorliegenden Untersuchungen ein hoher Anstieg der Blutglucosekonzentration in beiden Gefäßen nach Invertzuckermahlzeit beobachtet (Abb. 7 und 7a).

Der höchste Anstieg der Blutglucosekonzentration wurde im Jugularblut (Portalblut) bei Kalb 8 (3 g Invertzucker/kg KG) mit 71 (83) mg% gemessen. Bei Kalb 7 stieg der Blutglucose-Spiegel in beiden Gefäßen um maximal 49 mg% an. Diese Maxima wurden bei beiden Kälbern und an beiden Blutentnahmeorten in der 75. Minute nach der Fütterung erreicht.

Der gemittelte 5-Stunden Glucosegehalt des Jugularblutes (Portalblutes) lag mit 79 (95) mg% bei Kalb 7 bzw. mit 63 (79) mg% bei Kalb 8 um 20 (17) mg% bzw. um 24 (31) mg% über dem Nüchternwert.

Bei beiden Kälbern ist damit eine hohe Glucose-Resorptionsrate nach Invertzuckermahlzeit hinreichend bewiesen. Deutlich ausgeprägt war weiterhin die schnelle Glucoseanflutung im Pfortaderblut. Während in der V.jugularis 15 Minuten nach der Fütterung (im Mittel beider Kälber) nur eine Glucosekonzentrationserhöhung um 19 mg% gemessen wurde, stieg der Glucosespiegel des Portalblutes im gleichen Zeitraum um 55 mg% an.

Abb. 7

**Blutglucoseverhalten  
nach INVERTZUCKER-Gabe  
(3g/kg KG) an zwei Kälber in  
V.jugularis (o---o) und V.portae (●—●)**

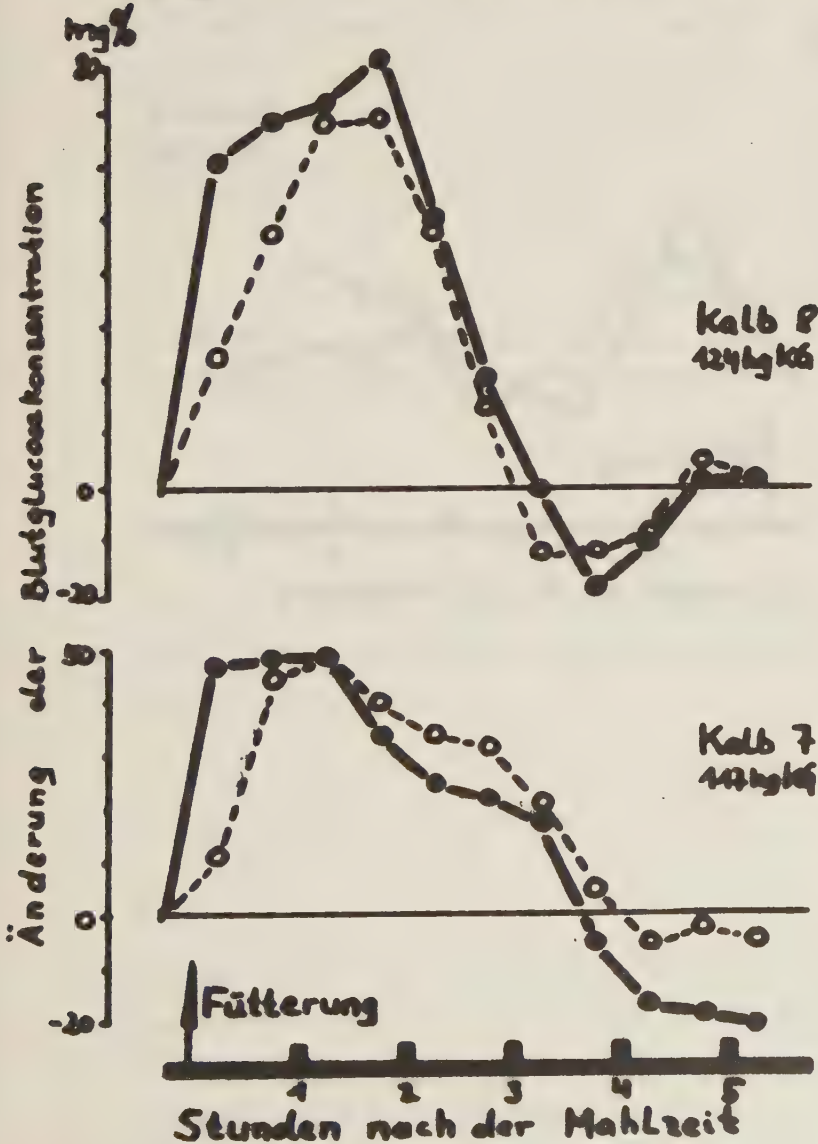


Abb. 7a Blutglucoseverhalten nach  
INVERTZUCKER-Gabe ( $15\text{g/kg KG}$ ) in  
V.jugularis (o--o) und V.portae (●—●)



Bei Kalb 5, dem nur die halbe Dosis (1,5 g/kg KG) des Testkohlenhydrats gefüttert worden war, ist dieser Effekt nicht ausgeprägt. Es besteht hier fraglos ein direkter Zusammenhang zwischen der Menge des verabreichten Kohlenhydrats und der resultierenden Blutglucoserespons. Die gemittelte 5-Stunden Glucosekonzentration lag in der V.jugularis (V.portae) nur um 12 (6) mg Glucose/100 ml Blut über dem korrespondierenden Nüchternwert. Die maximale Blutglucoseerhöhung betrug 22 (V.jugularis) bzw. 32 (V.portae) mg%. Dennoch ist auch hier eine Glucoseresorption deutlich ablesbar, da wir bisher weder nach Wassermahlzeit noch nach Fructose- oder Saccharosegabe 5-Stunden-Mittelwerte messen konnten, welche im gleichen Ausmaß über dem Nüchternglucosegehalt gelegen hatten.

Über die absolute Höhe der Blutglucose-Konzentrationen im Mittel beider Kalber mit 3 g Saccharose/kg KG orientiert Tabelle 10.

Tabelle 10. Mittlere Glucosekonzentrationen (mg%) nach Invertzuckermahlzeit im Blut der V.jugularis und V.portae bei 2 Kalbern

|           | V.jugularis | V.portae |
|-----------|-------------|----------|
| N         | 49          | 63       |
| 45 Min.   | 96          | 123      |
| max.      | 109         | 129      |
| 5-Stunden | 71 ± 8      | 87 ± 8   |

Die gemittelte Blutglucosekonzentration in der V.portae lag 15 Minuten vor der Fütterung um 14 mg% höher als in der V.jugularis. Die schnelle Glucoseanflutung wird aus den gemittelten Daten besonders deutlich. Die Konzentrationszunahme an Glucose innerhalb der ersten 45 Minuten nach Test

mahlzeit war in der Pfortader mit 60 mg% höher ausgefallen als im Jugularblut mit 47 mg%. Im Gesamtuntersuchungszeitraum wurden im Blut der V.jugularis (V.portae) 71 (87) mg Glucose bestimmt. Dies entspricht einer durchschnittlichen Konzentrationserhöhung über den Nüchternwert um 22 (24) mg Glucose/100 ml Blut.

Die maximalen Glucosekonzentrationen (mg %) wurden mit 109 (V.jugularis) bzw. 129 (V.portae) in beiden Fällen in der 75. Minute nach der Testfütterung gemessen. Auch durch diesen Parameter wird die gute Verwertbarkeit von Invertzucker, d.h. zumindest des in Invertzucker enthaltenen Glucoseanteils, bestätigt.

### 3.2.5. Blutglucoseverhalten nach Saccharose-Gabe (3 g/kg KG) an 6 - 8 Wochen adaptierte Kalber

Bei 3 Saccharose adaptierten Kalbern im Alter von 12 - 14 Wochen wurde die Blutglucosekonzentration in der V.jugularis und der V.portae über einen Zeitraum von 5 Stunden nach oraler Gabe von 3 g Saccharose/kg KG gemessen.

Diesen Saugkälbern war über 6 - 8 Wochen ein Milchaustauschfutter angeboten worden, das neben 36 % Lactose 5 % zugesetzte Saccharose sowie 2 % zugesetzte Fructose (Rations-<sup>(vorerst</sup> typ II) enthielt. Diese geringen Mengen der vom Saugkalb nicht verwertbaren Kohlenhydrate hatten keine Durchfallerscheinungen zur Folge und erlaubten demnach eine normale Ausnutzung der Gesamtration.

Es war das Ziel dieser Beifütterung von Fructose und Saccharose zu erfahren, ob eine Adaptation des Enzyms Invertase durch dieses Fütterungsregime zu erzielen sei.

Als induzierendes Prinzip dieser Carbohydrase gilt das Monosaccharid Fructose (54). Deshalb wurde dem oben genannten Milchaustauschfutter zur Adaptation an Saccharose auch 2 % Fructose beigelegt.

Die Testmahlzeiten wurden spontan aufgenommen. Sie führten jedoch auch hier (wie bei den nicht adaptierten Kalbern, siehe 3.2.3.) zu Durchfallerscheinungen. Dies konnte bereits als Hinweis gelten, daß eine vollständige Saccharosespaltung im Darmtrakt nicht stattfand.

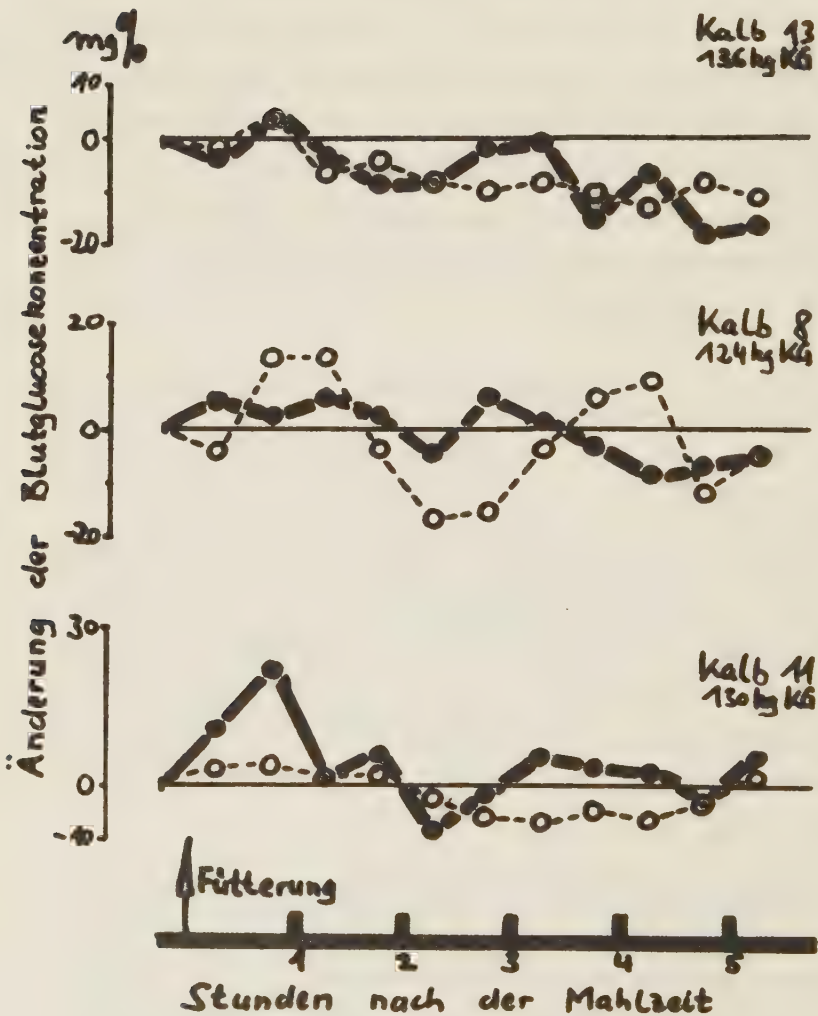
Der Verlauf der Blutglucosekonzentrationsänderung nach Saccharosegaben an die Kalber 8, 11 und 13 ist in Abb. 8 wiedergegeben.

Der Blutglucosespiegel des peripheren Blutes lag im Verlauf der Untersuchung bei allen Kalbern mehrheitlich unter dem Nüchternwert.

So wurde bei den Kalbern 8, 11 und 13 der gemittelte 5-Stunden-Glucosegehalt des Jugularblutes mit 50, 77 und 51 mg% geringfügig unterhalb der korrespondierenden Nüchternwerte mit 52, 78 und 58 mg% gemessen. Die maximale Erhöhung der Glucosekonzentration im Peripherie-Blut betrug gegenüber dem Blutglucosespiegel 15 Minuten vor der Mahlzeit im Mittel der Kalber 7 mg%.

Die Änderung der Blutglucose-Konzentration im Portalblut ging nur bei Kalb 13 und (weniger deutlich) bei Kalb 8 mit der Änderung des Blutglucosespiegels in der V.jugularis konform. Das 5-Stunden-mittel im Pfortaderblut lag bei Kalb 13 mit 59 mg Glucose/100 ml Blut um 7 mg% unter dem Nüchternwert. Bei Kalb 8 war kein Abfall im gemittelten

Abb. 8 Blutglucoseverhalten nach  
SACCHAROSE-Gabe (3g/kgKG) an 6-8  
Wochen adaptierte KÄLBER in  
V.jugularis (O--O) und V.portae (●—●)



5-Stunden-Wert (62 mg%) gegenüber dem Ausgangsniveau (62 mg%) zu ermitteln. Die maximale Glucosekonzentrations-Erhöhung gegenüber dem Nüchternwert lag im prähepatischen Blut bei den Kälbern durchschnittlich nur bei 5 mg%.

Eine Ausnahme bildete Kalb 11. Hier wurde 45 Minuten nach der Fütterung ein maximaler Konzentrationsanstieg von 22 mg Glucose/100 ml Portalblut gegenüber dem Ausgangswert gemessen. Der gemittelte 5-Stunden-Glucosegehalt (80 mg%) lag dagegen nur um 4 mg% über dem Nüchternniveau (76 mg%). Die gemittelten absoluten Glucosekonzentrationen aller 3 Kälber (Tabelle 11) lassen eine Saccharoseverwertung auch nach Adaptation nicht erkennen.

Tabelle 11. Mittlere Glucosekonzentrationen (mg%) nach Saccharosemahlzeit im Blut der V.jugularis und V.portae bei 3 adaptierten Kälbern

|           | V.jugularis | V.portae |
|-----------|-------------|----------|
| N         | 63          | 68       |
| 45 Min.   | 70          | 77       |
| max.      | 70          | 79       |
| 5-Stunden | 59 ± 15     | 67 ± 11  |

Im Jugularblut (Portalblut) lag die mittlere 5-Stunden-Konzentration um 4 (1) mg% niedriger als der Ausgangswert (63 bzw. 68 mg%). Der <sup>1)</sup>nächste Anstieg der Blutglucosekonzentration in V.jugularis bzw. V.portae wurde mit 7 bzw. 11 mg% 45 Minuten nach der Fütterung gemessen.

Jedoch nimmt im Verlauf der Untersuchung die Differenz von 5 mg%, die zwischen den Nüchtern-Glucosekonzentrationswerten im Pfortader- und Jugularblut bestand, einen geringfügig höheren Zahlenwert an.

<sup>1)</sup> abgerundeter Mittelwert

Im 5 Stunden-Mittel unterschieden sich die mittleren Blut-glucosekonzentrationen in V. jugularis (59 mg%) und V.portae (67 mg%) um 8 mg%. Auch aus den weiteren Parametern der Tabelle 11 (45 Minuten-Wert bzw. Maximal-Wert) wird eine höhere Glucose-Konzentration in der Pfortader (um 7 bzw. 9 mg Glucose/100 ml Blut) abgelesen.

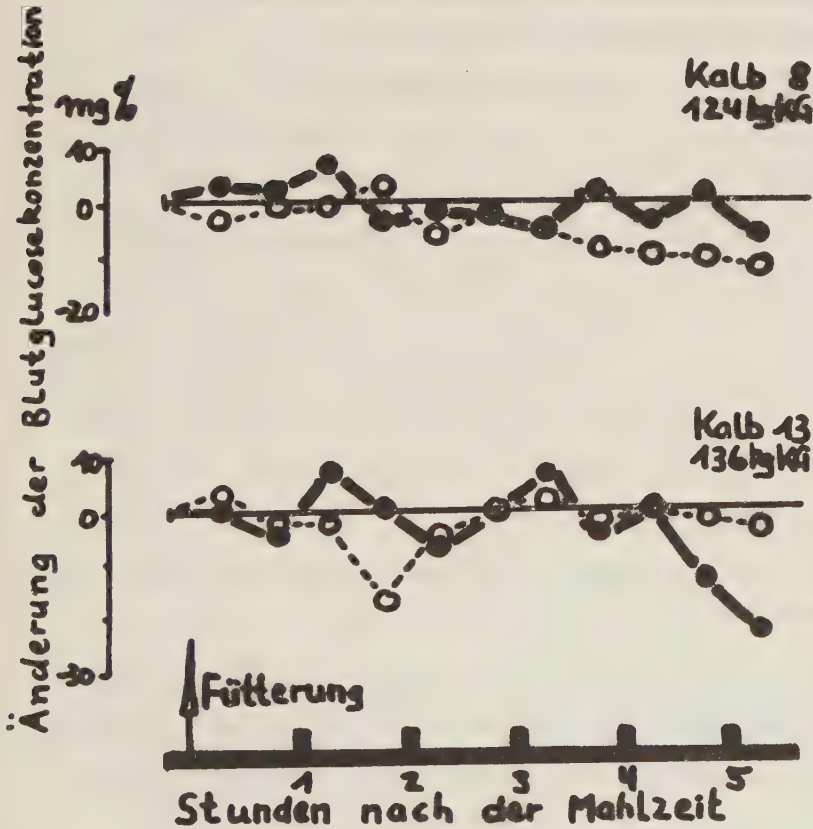
Wenn eine enzymatische Spaltung von Saccarose in Glucose und Fructose stattfindet, dann muß mit einer deutlichen Glucoserespons im Portal- und Jugularblut gerechnet werden, wie aus den zum Vergleich heranziehbaren Daten nach Invertzuckergabe (3.2.4.) hervorgeht. Da dies in vorliegender Untersuchung nicht der Fall war, konnte angenommen werden, daß entweder überhaupt keine Invertase - Induktion erfolgte oder aber die enzymatische Aktivität einer möglicherweise doch induzierten Invertase nicht ausreichte, um in Anbetracht des einsetzenden Spontandurchfalles eine zur Blut-glucose-Erhöhung ausreichende Saccharose-Menge zu hydrolysieren.

### 3.2.6. Blutglucoseverhalten nach Saccharosegabe (1,5 g/kg KG) an 6 - 8 Wochen adaptierte Kälber

Ausgehend von der Überlegung, daß infolge der Durchfallerscheinungen nach Verabreichung von 3 g Saccharose/kg KG eine möglicherweise doch vorhandene Saccharase-Aktivität nicht zu einer meßbaren Saccharose-Hydrolyse führen konnte, wurden 2 Probanden einer weiteren Testmahlzeit mit der verträglicheren Dosis von nur 1,5 g/kg KG Saccharose unterzogen.

Durchfallerscheinungen konnten im Untersuchungszeitraum nicht mehr beobachtet werden.

Abb. 9 Blutglucoseverhalten nach  
SACCHAROSE-Gabe (1,5g/kgKG) an  
(6-8 Wochen) adaptierte Kälber in  
V.jugularis (o--o) und V.portae (●—●)



Der Verlauf der Blutglucose-Konzentrationsänderung nach Saccharosemahlzeit an die Saccharose adaptierten Kälber 8 und 13 ist in Abb. 9 wiedergegeben.

Auch hier waren keine Hinweise auf eine Saccharose-Verwertung zu erkennen.

Die mittleren 5-Stunden-Konzentrationen im peripheren Venenblut lagen um 5 (Kalb 8) bzw. 1 (Kalb 13) mg Glucose/100 ml unter den zugehörigen Ausgangswerten.

Im Pfortaderblut wurde für den Gesamtuntersuchungs-Zeitraum die Glucosekonzentration mit 51 mg% um 1 mg% über (Kalb 8) bzw. mit 68 mg% um 1 mg% unter (Kalb 13) dem Nüchtern-Glucoseniveau ermittelt. Der höchste Anstieg der Glucosekonzentration im Jugularblut (Portalblut) konnte mit 3 (9) mg% bei Kalb 8 und 5 (10) mg% bei Kalb 13 gemessen werden.

Über die absoluten mittleren Glucosekonzentrationen im Blut beider Kälber orientiert Tabelle 12.

Tabelle 12. Mittlere Glucosekonzentrationen (mg%) nach Saccharosemahlzeit (1,5 mg/kg KG) im Blut der V.jugularis und der V.portae bei 2 Saccharose adaptierten Kalbern

|           | V.jugularis | V.portae |
|-----------|-------------|----------|
| N         | 55          | 60       |
| 45 Min.   | 55          | 60       |
| max.      | 59          | 69       |
| 5-Stunden | 52 ± 8      | 60 ± 9   |

45 Minuten nach der Mahlzeit hatte weder im peripheren noch im prähepatischen venösen Blut eine Glucosekonzentrations-Erhöhung stattgefunden. Der maximale Anstieg des

Blutglucosespiegels wurde im Blut beider Gefäße in der 75. Minute mit 4 (V.jugularis) bzw. 9 (V.portae) mg% bestimmt.

Um eine etwa vorhandene Blutglucoserespons adaptierter Kälber nach Saccharose - Gaben besser beurteilen zu können, werden im folgenden die Meßwerte bei nicht adaptierten (Tab. 9) und adaptierten Kälbern (Tab. 11 und 12) gegenüber gestellt:

Der mittlere 5-Stunden-Wert im peripheren Venenblut unterschied sich bei den adaptierten Tieren um -4 bzw. -3 mg% (3 g bzw. 1,5 g Saccharose/kg KG) und bei nicht adaptierten Kontrollkälbern um -1 mg Glucose/100 ml Blut vom zugehörigen Nüchtern-Glucose-Spiegel.

Im Portalblut differierte die mittlere 5-Stunden Glucosekonzentration bei adaptierten Kälbern mit -1 bzw. 0 mg% (3 g bzw. 1,5 g Saccharose/kg KG) und bei der Kontrollgruppe mit -3 mg Glucose/100 ml Blut ebenfalls kaum vom Meßwert 15 Minuten vor der Fütterung.

Die mittleren Glucose-Konzentrationen im Blut der V.jugularis unterschieden sich 45 Minuten nach der Testmahlzeit bei den adaptierten Tieren mit +7 bzw. 0 mg% (3 g bzw. 1,5 g Saccharose/kg KG) und bei den Kontrolltieren mit +1 mg Glucose/100 ml Blut vom Nüchternniveau.

Die zugehörigen Änderungen des Glucose-Spiegels im Blut der V.portae wurden mit +9 bzw. 0 mg% (3 g bzw. 1,5 g Saccharose/kg KG) und -3 mg% (Kontrollgruppe) bestimmt.

Selbst die maximalen Erhöhungen der Glucose-Konzentrationen gegenüber dem Nüchternwert betrugen im Jugularblut nur 7 bzw. 4 mg% (adaptierte Kälber, 3 g bzw. 1,5 g Saccharose/kg KG) und 5 mg Glucose/100 ml Blut (Kontrollgruppe).

Im Blut der V.portae hingegen unterschied sich die maximale Glucose-Konzentrationserhöhung bei den adaptierten Tieren mit +11 bzw. +9 mg% (3 g bzw. 1,5 g Saccharose/kg KG) von dem korrespondierenden Wert im Blut der Kontrollkälber, der mit +1 mg% fast identisch mit dem Nüchternniveau war.

Damoch wird deutlich, daß sich Ausmaß, Dauer und Richtung der Glucose-Konzentrationsänderung im Anschluß an eine Saccharosemahlzeit bei adaptierten und bei Kontrollkälbern grundsätzlich nicht unterscheiden.

Aus unseren bisherigen Ergebnissen kann der Schluß gezogen werden, daß Saccharose selbst nach einer 8-Wochen-Adaptationsperiode durch Saccharose- und Fructosezusatz zum Milchaustauschfutter nicht verwertet werden kann.

### 3.2.7. Diskussion

Saccharose wird im Dünndarm des Kalbes offensichtlich nicht in ihre Bausteine Glucose und Fructose gespalten. Dieser Befund findet seine Erklärung und Bestätigung in der fehlenden Saccharase-Aktivität des Bürstensaumepithels der Dünndarmmukosazelle (10, 23).

Es interessierte aber weiter, ob und inwieweit durch die langer dauernde Verabreichung von Saccharose bzw. Fructose, die als das Saccharase - induzierende Prinzip zu gelten hat, ein Adaptationsvorgang in Gang kommt. Der Erfolg der Adaptation müßte sich dann in einem Blutglucoseanstieg nach einer Testmahlzeit messen lassen.

Wie an Fructose und Saccharose (6 - 8 Wochen) adaptierten Kälbern gezeigt werden konnte, kann ein nennenswerter

Adaptationsvorgang nicht angenommen werden.

Bei nicht adaptierten Kalbern wurde im Portalblut (Jugularblut) in den 5 auf die Testmahlzeit folgenden Stunden eine mit 55 (53) mg% um 3 (1) mg% unter dem zugehörigen Nüchternwert von 58 (53) mg% befindliche Glucose-Konzentration gemessen. Bei "adaptierten" Kalbern lagen die korrespondierenden 5-Stunden-Mittelwerte mit 67 (59) mg% um 1 (4) mg% ebenfalls unter den Ausgangswerten mit 68 (63) mg%. Aus dem Vergleich der aufgeführten Wertepaare geht ein gleiches Blutglucoseverhalten nach einer dosisäquivalenten Saccharose-Gabe hervor.

Auch die Arbeitshypothese, daß eine möglicherweise geringgradige adaptationsbedingte Steigerung der Saccharase-Aktivität aus versuchstechnischen Gründen (infolge Durchfall nach 3 g Saccharose/kg KG beschleunigte Darmpassage) als längerfristige Erhöhung des Glucose-Spiegels im Pfortaderblut nicht erfaßt würde, konnte experimentell nicht bestätigt werden.

Die Verabreichung von nur 1,5 g Saccharose/kg KG führte nicht mehr zu Durchfallerscheinungen. Dennoch konnte auch hier eine nennenswerte Erhöhung der Blutglucose-Konzentration nach "Adaptation" nicht aufgezeigt werden. Der mittlere 5-Stunden-Blutglucosegehalt lag im Portal- und Jugularblut auf dem Ausgangsniveau. Die Blutglucose verhielt sich auch hier direkt vergleichbar dem korrespondierenden Werten bei "adaptierten" und nicht-adaptierten Kälbern nach 3 g Saccharose-Verabreichung/kg KG. Es muß daher gefolgert werden, daß Saccharose vom Kalb nicht verwertet werden kann.

Die Gültigkeit dieser Aussage wird durch den Befund unterstrichen, daß nach gewichtsgleichen (3 bzw. 1,5 g/kg KG) Gaben von Invertzucker (Glucose + Fructose im Verhältnis 1 : 1) jeweils eine deutliche Glucoseanflutung in Pfortader- und Jugularblut beobachtet wurde. Diese Glucose-Konzentrationserhöhung ist fraglos als Folge der peroralen Glucose-Zufuhr zu werten, da bereits in den Untersuchungen zur Fructose-Verwertung gezeigt werden konnte, daß nach Fructose-Gaben eine Reaktion der Blutglucose nicht erwartet werden darf.

Aus den hier vorgelegten und diskutierten Ergebnissen wird geschlossen, daß Saccharose als Ersatz-Kohlenhydrat für Lactose zur Ernährung des Mastkalbes nicht in Frage kommt.

#### 4. Zusammenfassung

An insgesamt 15 Kälbern mit einem Körpergewicht von 67 bis 300 kg wurde das Verhalten des Glucosespiegels im Jugular- und Portalblut in halbstündigen Abständen nach einer Testmahlzeit studiert. Als Testmahlzeiten fanden Verwendung: 2 Liter Wasser oder 3 g Fructose, Saccharose bzw. Invertzucker/kg KG in wässriger Lösung (2 Liter). Saccharose und Invertzucker wurden auch in einer Dosierung von 1,5 g/kg KG angeboten.

##### Ergebnisse:

Im Anschluß an eine Leermahlzeit (2 Liter Wasser) sank bei (36 Stunden) gefasteten Saugkälbern verschiedenen Alters (8 Wochen bis 8 Monate) der Blutglucose-Spiegel im Untersuchungszeitraum (5 Stunden) kontinuierlich ab. Dabei fiel im Portalblut die Glucose-Konzentration etwas schneller und auf tiefere Werte ab als im peripheren Venenblut. Dieses Verhalten der Blutglucose wird auf einen "Fasten-effekt" zurückgeführt.

Bei 6 - 12 Wochen alten Saugkälbern läßt sich durch die Messung des Blutglucose-Spiegels eine Fructose-Resorption nicht nachweisen. 2 - 3 Stunden nach einer Fructose-Mahlzeit muß im allgemeinen mit heftigen Durchfallerscheinungen gerechnet werden. Es wird gefolgert, daß resorbierte Fructose beim Kalb vom Darmepithel (und von der Leber) nur in geringem Ausmaße zu Glucose epimerisiert werden dürfte.

Nach Invertzucker-Mahlzeiten (= Fructose + Glucose im Verhältnis 1 : 1) wurde bei 9 - 12 Wochen alten Saug-

kälbern erwartungsgemäß eine deutliche Blutglucose-Anflutung gemessen.

Nach Saccharose-Mahlzeiten (3g/kg KG) an 8 - 12 Wochen alte Kälber traten schwere Durchfälle auf. Eine Konzentrationserhöhung der Blutglucose konnte weder im peripheren noch im prähepatischen venösen Blut bestimmt werden.

Auch nach einem längerfristigen Saccharose- und Fructose-Angebot über das Milchaustauschfutter (6 - 8 Wochen Adaptationsperiode) ließ sich im Anschluß an Saccharose-Testmahlzeiten (3 bzw. 1,5 g/kg KG) an 12 - 14 Wochen alte Saugkälber ein Blutglucoseanstieg nicht auffinden. Eine Adaptation an Saccharose, die eine Verwertung dieses Kohlenhydrats zur Folge haben sollte, darf daher bei Mastkälbern unter den geschilderten Versuchsbedingungen nicht erwartet werden.

### Summary

On a ~~total~~ of 15 veal calves the changes of the glucose level in portal and jugular vein blood after a test meal were studied. The composition of the test diets was as follows: 2 liters of water or 3 g of fructose, sucrose and invert sugar, respectively, per kg body weight in aqueous solution. Sucrose and invert sugar were also given in a dosage of 1,5 g/kg body weight.

### Results

After feeding 2 liters of water a continuous decrease of the blood glucose level of suckling calves of different ages (8 weeks to 8 months), having fasted for 36 hours, was observed within a period of 5 hours. In the portal blood the glucose concentration decreased faster than in the peripheral venous blood. This change of blood glucose is attributed to fasting.

In suckling calves, aged 6 - 12 weeks, the fructose absorption cannot be estimated by measuring the blood glucose level alone. The average glucose concentration during the whole test period (5 hours) in the jugular and portal blood was not remarkably changed. From these results it is concluded that fructose in the amount and concentration administered is epimerized into glucose in the intestinal epithelium only to a negligible extent. 2 - 3 hours after a fructose meal generally heavy diarrhoea symptoms must be expected.

After invert sugar meals (fructose: glucose = 1:1) to 9 - 12 weeks old veal calves a marked blood glucose influx

was measured. The increase of the blood glucose however turned out to be dependent on the administered dose.

After sucrose feeding (3 g/kg body weight) heavy diarrhoeas were observed. An increase of the concentration of blood glucose could not be registered neither in the peripheral nor in the portal venous blood.

Also after feeding a milkreplacer containing sucrose and fructose for 6 - 8 weeks a blood glucose response attributed to administered sucrose (3 and 1,5g/kg body weight) could not be measured.

Therefore an adaptation to sucrose, which should lead to an utilization of this carbohydrate, cannot be expected under the described experimental conditions in veal calves.

## 5. L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- (1)     ANDERSON, J.W. and R.H. HERMANN:  
Effect of fasting, caloric restriction, and  
refeeding on glucose tolerance of normal men.  
Am. J. of Clin. Nutr., 25, 41 (1972)
- (2)     ATTEBERY, J.T. and H.W. COLVIN, Jr.:  
Effect of diet on fasting blood glucose levels  
in dairy calves from 1 to 13 weeks old.  
J. Appl. Physiol., 18, 1221 (1963)
- (3)     BARHYDT, J.B. and J.A. DYE:  
Relationship between dietary carbohydrate  
abomasal carbohydrates, and blood glucose  
in the calf.  
Cornell vet., 47, 76 (1957)
- (4)     BOSTEDT, H. und M. BERCHTOLD:  
Veränderungen der Glucosekonzentration und  
der Zahl der eosinophilen Leukozyten im Blut  
von kindern intra und post partum.  
Berliner und Münchner Tierärztliche Wochen-  
schrift, 81, 243 (1968)
- (5)     BURT, A. W. and SHEILA M. IRVINE:  
Carbohydrate in milk replacers for calves.  
J. Ed. Agric., 21, 342 (1970)
- (6)     CRAINE, E.M. and R.G. HANSEN:  
The short-chain fatty acids of the peripheral  
blood of goats.  
J. Dairy Sci., 35, 631 (1952)

- (7) DAVIS, C. L. and R. E. BROWN:  
Availability and metabolism of various  
substrates in ruminants. IV. Glucose  
metabolism in the young calf and growing  
steer.  
J. Dairy Sci., 45, 513 (1962)
- (8) DOLE, V. P.:  
A relation between non esterified fatty  
acids in plasma and the metabolism of  
glucose.  
J. of Clinic. Investigation, 35, 150 (1956)
- (9) DOLLAR, A. M. and J. W. G. PORTER:  
Utilisation of carbohydrates by the young  
calf.  
Nature, London, 179, 1299 (1957)
- (10) DOLLAR, A. M. and J. W. G. PORTER:  
Some aspects of carbohydrate utilization by  
young calves.  
Proc. XV<sup>th</sup> Int. Dairy Congr., 1, 185 (1959)
- (11) EDWARDS, A. V.:  
Carbohydrate metabolism in young animals.  
In: Physiology of digestion and metabolism  
in the ruminant, S.T. Philipson, Ed., S. 180  
Oriel Press Ltd., Newcastle 1970
- (12) FLASCHENTRÄGER, B. und E. LEHNARTZ:  
Physiologische Chemie,  
2. Band, 2. Teil, Bandteil a, S. 67  
Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1956

- (13) FLIPSE, R. J., C. F. HUFFMAN, H. D. WEBSTER  
and C. W. DUNCAN:  
Carbohydrate utilization in the young calf.  
II. The nutritive value of starch and the  
effect of lactose on the nutritive values  
of starch and corn syrup in synthetic milk.  
J. Dairy Sci., 33, 557 (1950)
- (14) GIESECKE, D.:  
Die funktionelle Vormagenentwicklung des  
Wiederkäuers.  
Tierärztliche Umschau, 22, 398 (1967)
- (15) GORILL, A. D. L. and J. W. THOMAS:  
Body weight changes, pancreas size and  
enzyme activity, and proteolytic enzyme  
activity and protein digestion in intestinal  
contents from calves fed soybean and milk  
protein diets.  
J. Nutrition, 92, 215 (1967)
- (16) GROPP, J.:  
Studien über die Verwertung von Nahrungs-  
kohlenhydraten beim Mastkalb.  
Habilitationsschrift, Tierärztliche Fakul-  
tät der Universität München 1973
- (17) GROPP, J.: und V. SCHULZ:  
Studien zur Saccharose-Adaptation bei Mast-  
kälbern (in Vorbereitung) München 1973
- (18) HANSEN und HOFMANN:  
Deutsche landwirtschaftliche Tierzucht,  
10, 445 (1906)

- (19) HENSCHEL, M. J., W. B. HILL and J. W. G. PORTER:  
Carbohydrate digestion in the small intestine of  
the young steer.  
Proc. Nutrition Soc., 22, V. (1963)
- (20) HIBBS, J. W., H. R. CONRAD, W. D. POUNDEN and  
N. FRANK:  
A high roughage system of raising calves based  
on early development of rumen function.  
VI. Influence of hay to grain ratio on calf  
performance, rumen development and certain  
blood changes.  
J. Dairy Sci., 39, 171 (1956)
- (21) HONCAMP, F.:  
Landwirtschaftliche Fütterungslehre und Futter-  
mittelkunde.  
Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 1926
- (22) HUBER, J. T.:  
Relationship of age and diet to digestive  
enzyme activity in the calf.  
M.S. thesis, Iowa State University, Ames (1958)
- (23) HUBER, J. T., N. L. JACOBSON, R. S. ALLEN and  
P. A. HARTMAN:  
Digestive enzym activities in the young calf.  
J. Dairy Sci., 44, 1494 (1961)
- (24) HUBER, J. T., N. L. JACOBSON, A. D. MCGILLIARD  
and R. S. ALLEN:  
Utilization of carbohydrates introduced directly  
into the omaso-abomasal area of the stomach of  
cattle of various ages.  
J. Dairy Sci., 44, 321 (1961)

- (25) HUBER, J. T., N. L. JACOBSON, A. D. MCGILLIARD,  
J. L. MORILL and R. S. ALLEN:  
Digestibilities and diurnal excretion patterns  
of several carbohydrates fed to calves by  
nipple pail.  
J. Dairy Sci., 44, 1484 (1961)
- (26) HUBER, J. T., R. J. RIFKIN and J. M. KEITH:  
Effect of level of lactose upon lactase  
concentrations in the small intestines of  
young calves.  
J. Dairy Sci., 47, 789 (1964)
- (27) HUBER, J. T., S. NATRAJAN and C. E. POLAN:  
Adaptation to starch in steers fed by nipple  
pail.  
J. Dairy Sci., 50, 1161 (1967)
- (28) HUBER, J. T., S. NATRAJAN and C. E. POLAN:  
Varying levels of starch in calf milk replacers.  
J. Dairy Sci., 51, 1081 (1968)
- (29) HUBER, J. T.:  
Development of the digestive and metabolic  
apparatus of the calf.  
J. Dairy Sci., 52, 1303 (1969)
- (30) KARR, M. R., C. O. LITTLE and G. E. MITCHELL:  
Starch disappearance from different segments  
of the digestive tract of steers.  
J. Anim. Sci., 25, 652 (1966)
- (31) KIYASU, J. Y. and I. L. CHAIKOFF:  
On the manner of transport of absorbed fructose.  
J. of biol. Chem., 224, 935 (1957)

- (32) KOLB, E.:  
Lehrbuch der Physiologie der Haustiere  
Gustav Fischer Verlag, Jena 1952
- (33) LAMBERT, M. R., N. L. JACOBSON, R. S. ALLEN  
and M. R. BELL:  
The relationship of growth, feed consumption,  
and certain blood constituents to changes in  
the dietary of young calves.  
J. Dairy Sci., 38, 6 (1955)
- (34) LARSEN, H. J., G. E. STODDARD, N. L. JACOBSON  
and R. S. ALLEN:  
Digestion and absorption of various carbohydrates  
posterior to the rumino-reticular area of the  
young bovine.  
J. Anim. Sci., 15, 473 (1956)
- (35) LIANG, Y. T., J. L. MORILL and J. L. NOORDSKY:  
Absorption and utilization of volatile fatty  
acids by the young calf.  
J. Dairy Sci., 50, 1153 (1967)
- (36) LITTLE, C. O., G. E. MITCHELL and C. M. REITNOUR:  
Postruminal digestion of corn starch in steers.  
J. Anim. Sci., 27, 790 (1968)
- (37) LUPIEN, P. E., F. SAUER and G. V. HATINA:  
Effects of removing the rumen, reticulum, omasum,  
and proximal third of the abomasum on digestion  
and blood changes in calves.  
J. Dairy Sci., 45, 210 (1962)

- (38) McCANDLESS, E. L. and J. A. DYE:  
Physiological changes in intermediary metabolism  
of various species of ruminants incident of  
functional development of the rumen.  
Amer. J. Physiol., 162, 434 (1950)
- (39) McCARTHY, R. D. and E. M. KESLER:  
Relation between age of calf, blood glucose,  
blood and rumen levels of volatile fatty acids  
and in vitro cellulose digestion.  
J. Dairy Sci., 39, 1280 (1956)
- (40) MCCORMICK, R. J. and W. E. STEWART:  
Pancreatic secretion in the bovine calf.  
J. Dairy Sci., 50, 568 (1967)
- (41) MISBIN, R. J., P. J. EDGAR and D.H. LOCKWOOD:  
Adrenergic regulation of insulin secretion during  
fasting in normal subjects.  
Diabetes, 19, Nr. 10, 688 (1970)
- (42) MORILL, J. L., N. L. JACOBSON, A. D. MCGILLIARD  
and D. K. HOTCHKISS:  
Use of a re-entrant ileal fistula to study  
carbohydrate utilization by the young bovine.  
J. Nutrition, 85, 429 (1965)
- (43) MORILL, J. L., W. E. STEWART, R. J. MCCORMICK  
and H. C. FRYER:  
Pancreatic amylase secretion by young calves.  
J. Dairy Sci., 53, 72 (1970)
- (44) NETKE, S. P., K. E. GARDNER and K. A. KENDALL:  
Physiological responses of dairy calves to certain  
carbohydrates when added to a milk replacers diet.  
J. Dairy Sci., 43, 892 (1960).

- (45) NICOLAI, J. G. and W. E. STEWART:  
Relationship between forestomach and glycemia  
in ruminants,  
J. Dairy Sci., 48, 56 (1965)
- (46) NORRIS, L. C.:  
The production of volatile fatty acids in the  
intestinal tract of calves fed whole milk or  
cereal gruel.  
New York (Cornell) Exp. Sta., Memoir 90 (1925)
- (47) OKAMOTO, J., J. W. THOMAS and T. L. JOHNSON:  
Utilization of various carbohydrates by young  
calves.  
J. Dairy Sci., 42, 920 (1959)
- (48) ØRSKOV, E. R., C. FRASER and N. B. KAY:  
Dietary factors influencing the digestion of  
starch in the rumen and small and large intestine  
of early weaned lambs.  
Brit. J. Nutrition, 23, 217 (1969)
- (49) RATCLIFF, L., N. L. JACOBSON and R. S. ALLEN:  
Effect of age and of dietary regime on hemoglobin  
and reducing-sugar levels in the blood of dairy  
calves.  
J. Dairy Sci., 41, 1401 (1958)
- (50) RAVEN, A. M. and K. L. ROBINSON:  
Studies of the nutrition of the young calf.  
A comparison of starch, lactose and hydrogenated  
palm oil with butterfat in milk diets.  
Brit. J. Nutrition, 12, 469 (1958)
- (51) REISSINGER, H.:  
Methodische Untersuchungen über Blutzucker und  
eosinophile Leukozyten beim Rind unter besonderer  
Berücksichtigung von Sexualzyklus, Schweregeburt  
und Kaiserschnitt.  
Vet. med. Dissertation. München 1968

- (52) REYNOLD, A. E., W. STAUFFACHER and G. F. CAHILL jr.:  
Diabetes mellitus.  
In: The metabolic basis of inheritable disease, Steinbury, J. W., J. B. Whyngharden and D. S. Frederickson, eds., Part II, Chapter 4,  
Mc. Graw Hill Book Comp., New York 1972
- (53) REYNOLDS, D. J.:  
A study of some effects of ration on the glucose metabolism of calves.  
Ph. D. thesis Cornell University Ithaca, New York (1963)
- (54) ROSENSWEIG, N. S.:  
Zitiert nach Huber, J. T.  
J. Dairy Sci., 52, 1303 (1969)
- (55) SCHARRER, E., D. EISFELD und J. BRÜGGEMANN:  
In vitro-Untersuchungen zur Aminosäuren- und Zuckerresorption am Jejunum von Rindern (Capreolus capreolus L.)  
Zbl. Vet. Med. A., 19, 523 (1972)
- (56) SCHARRER, E., K. MÜLLER und H. ZUCKER:  
Veränderungen des Glucosestoffwechsels im Rattendarm durch Adaptation an proteinreiche Ernährung.  
Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem., 348, S. 720 (1967)
- (57) SHAW, R. H., T. E. WOODWARD and R. P. NORTON:  
Digestion of starch by the young calf.  
J. Agr. Res., 12, 575 (1918)
- (58) SHELLEY, H. J. and G. S. DAWES:  
Fate of fructose in the newly delivered foetal lamb.  
Nature, London, 194, 296 (1962)

- (59) SHOENMAKER, W. C., H. M. YANOF, L. N. TURK and T. H. WILSON:  
Glucose and fructose absorption in the unanesthetized dog.  
Gastroenterology, 44, 654 (1963)
- (60) SIDDONS R. C.:  
Intestinal disaccharidases in the calf.  
Proc. Nutr. Soc., 27, 18 A (1968)
- (61) SIDDONS, R. D., R. H. SMITH, M. J. HENSCHEL, W. B. HILL and J. W. G. PORTER:  
Carbohydrate utilization in the pre-ruminant calf.  
Brit. J. Nutr., 23, 333 (1969)
- (62) TUCKER, R. E., G. E. MITCHELL, Jr. and C. O. LITTLE:  
Ruminal and postruminal starch digestion in sheep.  
J. Anim. Sci., 27, 824 (1968)
- (63) UCHINO, S. and M. MORI:  
Supplementary researches on the enzyme actions of cow intestinal mucosa.  
J. Japan. Soc. Food Nutrition, 3, 105 (1951)
- (64) VAN ES, A. J. H., J. DOMMERHOIT, H. J. NYKAMP und J. E. VOGT:  
Der Gehalt an verdaulichen Nährstoffen und umsetzbarer Energie einiger Veredelungsprodukte der Maisstärkeindustrie.  
Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde, 27, 71 (1971)

- (65) VELU, J. G., K. A. KENDALL and K. A. GARDNER:  
Utilization of various sugars by the young dairy calf.  
J. Dairy Sci., 43, 456 (1960)
- (66) WALKER, D. M.:  
The development of the digestive system of the young animal. III. Carbohydrate enzyme development in the young lamb.  
J. Agr. Sci., 53, 374 (1959)
- (67) WRIGHT, P. L., R. B. GRAINGER and G. J. MARCO:  
Postruminal degradation and absorption of carbohydrates by the mature ruminant.  
J. Nutrition, 89, 241 (1966)
- (68) WILLGERODT, H., K. BEYREISS und H. THEILE:  
Untersuchungen zur Fruktoseresorption bei hereditärer Fruktoseintoleranz.  
Ernährungsforschung, 13, 305 (1968)
- (69) WILSON, T. H. and G. WISEMAN:  
The use of sacs of everted small intestine for the study of the transference of substances from the mucosal of the serosal surface.  
J. Physiol., 123, 116 (1954)
- (70) WING, J. M., N. L. JACOBSON and R. S. ALLEN:  
The effect of various restricted diets on the growth and on certain blood components of young dairy calves.  
J. Dairy Sci., 38, 1006 (1955)

- (71) YANG, M. G. and J. W. THOMAS:  
Absorption and secretion of some organic and  
inorganic constituents and the distribution of  
these constituents throughout the alimentary  
tract of young calves.  
J. Nutrition, 87, 444 (1965)
- (72) ZAUSCHER, R.:  
Vet. med. Dissertation (in Vorbereitung)  
München 1973

## D a n k s a g u n g

Herrn Prof. Dr. Dr. Dr.h.c..Dr.h.c. Dr.h.c. Johannes Brüggemann und Herrn Prof. Dr. Dr. Jürgen Tiewst gilt mein herzlicher Dank für die Überlassung des Themas und die freundliche Aufnahme und Unterstützung, die ich an ihren Instituten erfahren habe.

Insbesondere aber danke ich Herrn Privatdozenten Dr. Jürgen Gropp für seine wertvollen Ratschläge und tatkräftige Unterstützung während der Versuche und der Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit.

## T a b e l l a r i s c h e r   L e b e n s l a u f

Name: Klaus-Peter E b e r h a r d

geboren: 11.11.1944 in Fürstenfeldbruck

Vater: Ludwig Eberhard, Betriebsleiter

Mutter: Elisabeth Eberhard, geb. Graf, Hausfrau

Schulbildung: a) Volksschule Unterpfaffenhofen  
b) Max-Planck-Gymnasium München-Pasing  
Abitur 1965

Studium: WS 1965 Beginn des tierärztlichen Studiums  
an der Tierärztlichen Fakultät der Univer-  
sität München, ohne Studienplatzwechsel.  
Staatsexamen am 2.2.1971 beendet.

Approbation: 5.4.1971

Tätigkeit: Seit 15.5.1971 Verwalter der Dienstge-  
schafte eines wissenschaftlichen Assistenten  
an der Medizinischen Tierklinik der Univer-  
sität München.

Eheschließung: 11.4.1970, Standesamt Pullach im Isartal

Ehefrau: Elke, geb. Müller

Kind: Tochter Stefanie, geb. 19.12.1972



